

Rolf Lilleberg

Ilmankosteus suomalaisissa asunnoissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

25.5.2018

Tekijä Otsikko	Rolf Lilleberg Ilmankosteus suomalaisissa asunnoissa
Sivumäärä Aika	58 sivua 25.5.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	operatiivinen johtaja Lassi Viitala lehtori Markku Leino
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin ilmankosteutta suomalaisissa asunnoissa. Vuonna 2010 käytettiin yli miljardi euroa merkittävien kosteusvaurioiden korjaamiseen ja arviolta 6–9 % asuinkerrostaloista oli merkittävä home- tai kosteusvaurio. Tutkinta tehtiin Leanheatin järjestelmän keräämän datan avulla ja käymällä kohteissa katsomassa, mistä kosteus voisi johtua. Leanheatillä on älykäs lämmönohjausjärjestelmä, joka kerää dataa asuntojen sisälämpötilasta ja -kosteudesta, ulkolämpötilasta ja -kosteudesta ja sääennusteista.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, vaikuttaako asunnon kosteusolosuhteisiin rakennuksen rakennusvuosi, eri ilmanvaihtotapa tai kohteen sijainti. Rakennusvuosi-vertailussa selvitettiin, ovatko kosteusolosuhteet parantuneet tai onko rakennusvuodella mitään merkitystä, kun puhutaan kosteudesta. Eri ilmanvaihtotapoja vertailemalla selvitettiin, onko jokin ilmanvaihtotapa parempi kuin toinen kosteusvertailussa. Sijaintia vertailemalla tutkittiin, vaikuttaako kohteen sijainti kosteuteen. Esimerkiksi vaikuttaako, jos kohde sijaitsee rannikolla tai pohjoisessa.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin myös yksittäisiä asuntoja, joissa kosteustaso oli korkeampi kuin muissa saman kohteen asunnoissa. Tutkiminen suoritettiin käymällä kohteissa ja tarkastelemalla, mikä voisi aiheuttaa kosteuden nousun. Kohteissa mitattiin myös ilmanvirtoja ja verrattiin niitä suunniteltuihin arvoihin.</p> <p>Tuloksista ilmeni, että rakennusvuodella, ilmanvaihdolla ja sijainnilla on merkitystä ilman- kosteuteen. Uusissa rakennuksissa on kuivempaa. Painovoimainen ilmanvaihtotapa eroaa koneellisesta ilmanvaihdosta. Eri koneelliset ilmanvaihtotavat eivät vaikuta kosteuteen, mutta ilmanvaihto vaikuttaa. Sijainti puolestaan vaikuttaa ulko-olosuhteiden vuoksi. Yksittäisten asuntojen tuloksista ilmenee hyvin ilmanvaihtokertoimen heikkouden ja kosteuden nousun yhteys.</p>	
Avainsanat	ilmankosteus, kosteuslisä, ilmanvaihto

Author Title	Rolf Lilleberg Humidity in Finnish apartments
Number of Pages Date	58 pages 25 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Lassi Viitala, COO Markku Leino, Senior Lecturer
<p>The aim of this Bachelor's thesis was to establish if the construction year, location or ventilation system of a building has an influence on the humidity in Finnish apartments. The purpose was to see whether newer buildings performed better than older ones, whether the sea or the Northern location had an effect, and whether any ventilation system would prove to be better than others.</p> <p>The study was based, first, on the data in the Leanheat system, an AI system that controls the heating and gathers data about apartment temperatures and relative humidity, and second, to visits to apartments with high humidity in order to establish the cause of moisture. When visiting the apartments, the ventilation rates were measured and compared to ventilation design.</p> <p>The study showed that the year of construction, location and ventilation system indeed have an effect on the humidity of a building. Newer buildings have less humidity than old ones, location has an effect due to the differences in weather. Of the ventilation systems, gravity based ventilation is the least effective to remove humidity. All the other ventilation systems perform in an almost similar way when only the effect of removing humidity is compared. The inactivity of ventilation increases humidity.</p>	
Keywords	humidity, moisture, ventilation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Ilmankosteus	2
2.1	Mistä kosteus tulee?	8
2.2	Kosteuden vaikutukset rakenteisiin ja ihmisiin	12
2.2.1	Mikrobit ja home	13
2.2.2	Kosteuden vaikutukset terveyteen	14
2.3	Kosteuden terveysvaikutusten huomiointi rakennusten suunnittelussa	17
2.4	Ilmanvaihto ja sen merkitys kosteuteen	18
2.4.1	Ilmanvaihdon suunnittelu	20
2.4.2	Ilmankosteuteen vaikuttavien tekijöiden laskentaa	23
2.4.3	Määräyksiä kosteudesta	28
2.5	Kosteusvaikutusten taloudellinen merkitys	30
3	Tilastollinen kosteusanalyysi	31
3.1	Kohteiden esittely	34
3.2	Tuloksia	34
3.3	Ulko-olosuhteiden tarkastelu	40
3.4	Ratkaisuja sisäilmankosteuden hallintaan	43
4	Yksittäisten kohteiden tarkastelu	44
4.1	Yksittäisten kohteiden esittely	44
4.2	Ilmanvaihto-vertailua	54
4.3	Tulokset	55
5	Tulosten luotettavuus	56
6	Yhteenveto	57
6.1	Data-analyysin yhteenveto	57
6.2	Yksittäisten kohteiden yhteenveto	58
	Lähteet	59

Lyhenteet

ET Ei tutkittu

ODTS Organic Dust Toxic Syndrome, orgaanisen pölyn aiheuttama toksinen oire-ryhmä

SRMK Suomen rakentamismääräyskokoelma

1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkitaan ilmankosteutta suomalaisissa asunnoissa. Vuonna 2010 käytettiin yli miljardi euroa merkittävien kosteusvaurioiden korjaamiseen ja arviolta 6–9% asuinkerrostaloista on merkittävä home- tai kosteusvaurio. Tutkinta tehdään Leanheatin järjestelmän keräämän datan avulla ja käymällä kohteissa katsomassa, mistä kosteus johtuu. Leanheat Oy on yritys, joka on erikoistunut kiinteistöjen energiatehokkaaseen ohjaukseen ja ylläpitämiseen. Leanheatillä on älykäs lämmönohjausjärjestelmä, joka kerää dataa asuntojen sisälämpötilasta ja -kosteudesta, ulkolämpötilasta ja -kosteudesta sekä sääennusteista. Dataa kerätään asuntoihin asennettavista antureista ja jokaisen kohteen lähimmästä luotettavasta sääasemasta. Näiden avulla säädetään rakennuksen keskuslämmitystä, saadaan säästöjä sekä paremmat lämpöolotilat asuntoihin. Leanheatillä on ohjattavana melkein tuhat eri kohdetta eri puolilla maailmaa, joista suurin osa on Suomessa.

Opinnäytetyössä tutkitaan, vaikuttaako asunnon kosteusolosuhteisiin rakennuksen rakennusvuosi, eri ilmanvaihtotapa tai kohteen sijainti. Rakennusvuosi-vertailussa selvitetään, ovatko kosteusolosuhteet parantuneet, tai onko rakennusvuodella merkitystä, kun puhutaan kosteudesta. Eri ilmanvaihtotapoja vertailemalla havaitaan, onko jokin ilmanvaihtotapa parempi kuin toinen kosteusvertailussa. Sijaintia vertailemalla nähdään, vaikuttaako kohteen sijainti kosteuteen. Esimerkiksi onko vaikutusta, jos kohde sijaitsee rannikolla tai pohjoisessa.

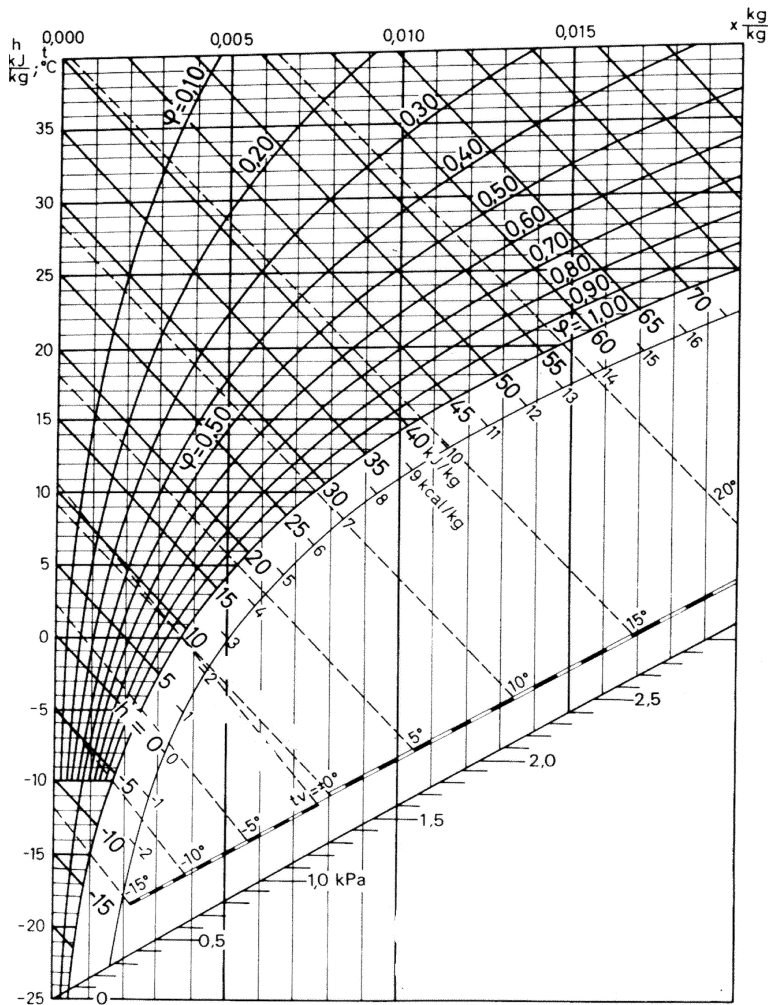
Opinnäytetyössä tutkittiin myös yksittäisiä asuntoja, joissa kosteus on suurempi, kuin muissa saman rakennuksen asunnoissa. Tutkimus suoritettiin käymällä kohteissa paikan päällä ja tarkastelemalla, joka voisi aiheuttaa kosteuden nousun. Tutkimuksessa mitattiin myös ilmanvirtoja ja verrattiin niitä suunniteltuihin arvoihin.

Tutkimuksen tavoitteena on tarkistaa, löytyykö datasta kosteudelle yhdenmukaisuutta sijainnin, rakennusvuoden tai ilmanvaihdon mukaan. Tavoitteena on myös selvittää, mitä voitaisiin tehdä, jotta kosteus saataisiin halutulle tasolle. Tutkimuksen avulla pyritään löytämään ratkaisuja, joita voitaisiin soveltaa mahdollisimman monessa eri kohteessa. Tavoitteena on myös selvittää, mistä yksittäisten asuntojen suuri kosteus johtuu sekä löytämään ratkaisuja kosteuden poistamiselle. Päättävänä on parantaa Leanheatin

kosteusseurantaa. Löytämällä syyt kosteuden nousuun voidaan jatkossa ainoastaan datan avulla raportoida kohteen huollolle, miksi kosteus on noussut.

2 Ilmankosteus

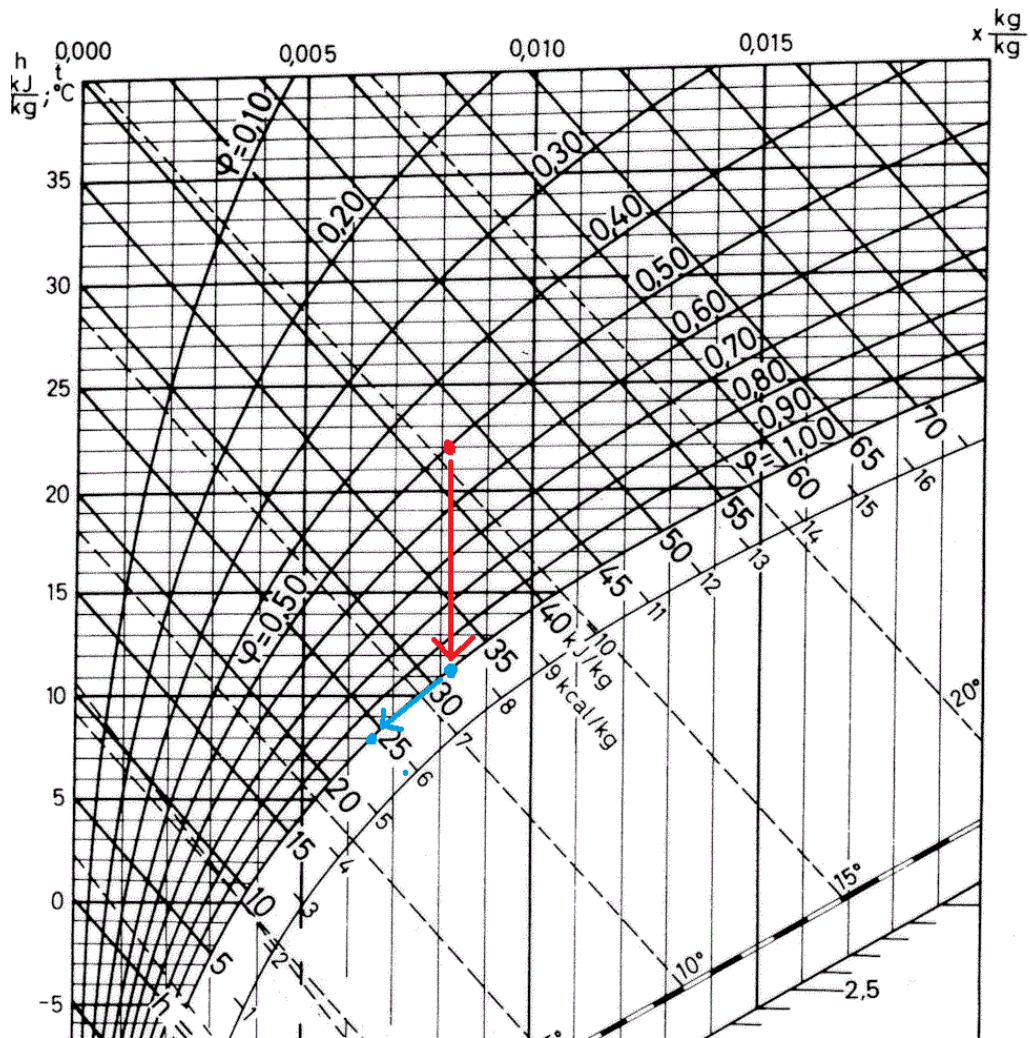
Kuiva ilma sisältää erilaisia kaasuja, kuten typpeä, happea, argonia ja hiilidioksidia. Ilma ei kuitenkaan koskaan ole kuivaa, vaan siinä on aina mukana vesihöyryä. Vesihöyryn määrä riippuu paljon ilmanlämpötilasta, koska mitä lämpimämpi ilma on, sitä enemmän siinä voi olla vesihöyryä. Ilmankosteutta esitetään suhteellisena kosteutena, absoluuttisena kosteutena ja kosteuslisänä. Ilmankosteudesta on tehty ilman h-x-piirros eli Mollier-diagrammi (kuva 1). (Sandberg 2014b: 81.)



Kuva 1. Mollierin diagrammi (Sandberg 2014b: 81).

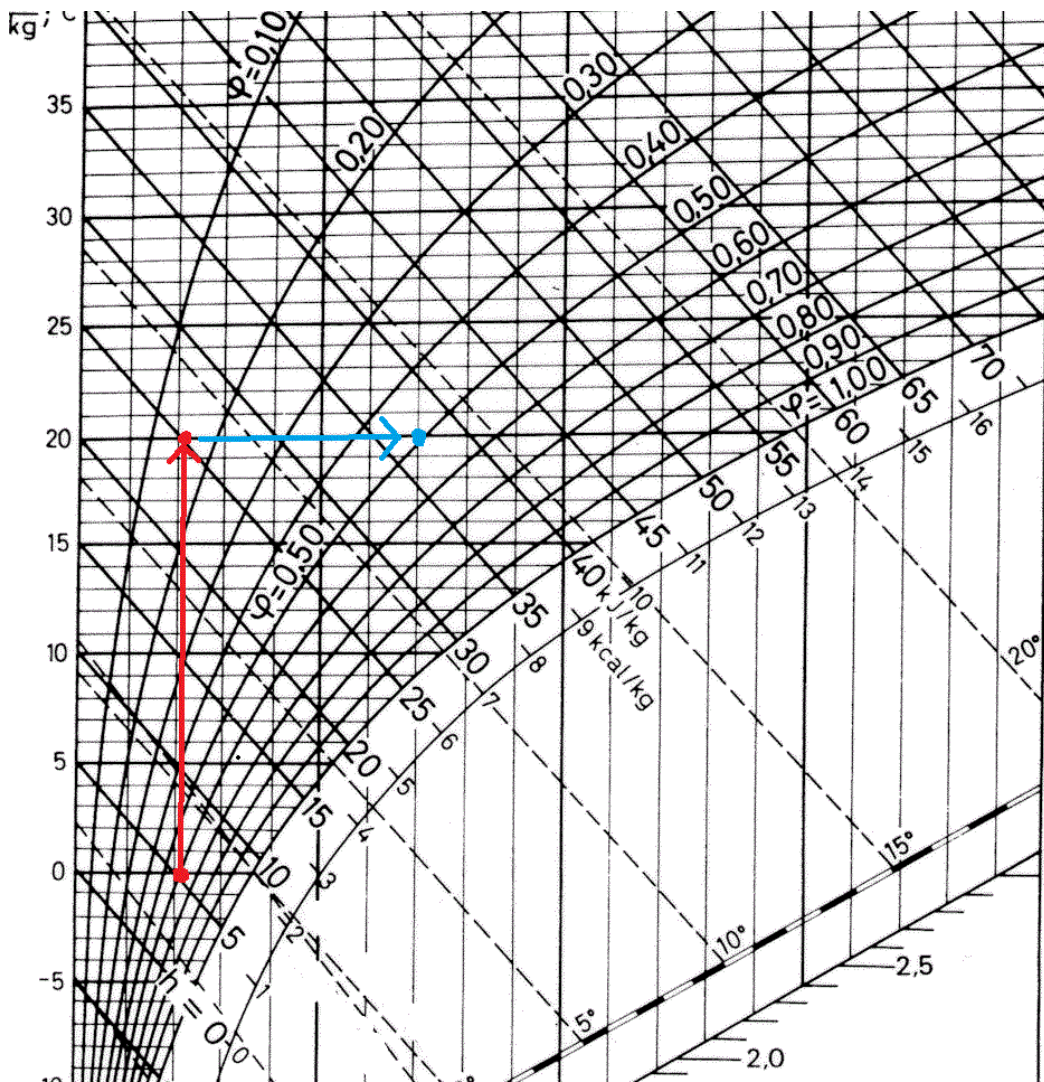
Kuvassa 1 olevassa Mollierin diagrammista voidaan lukea ominaisentalpia, vesisisältö eli absoluuttinen kosteus, suhteellinen kosteus ja vesihöyryn osapaine. Diagrammi tehdään aina jollekin tietylle ilmanpaineelle, koska se vaikuttaa diagrammista saatuihin arvoihin. Yleisin paine on 101,3 kPa, joka vastaa normaalia ilmakehän painetta. (Sandberg 2014b: 84.)

Kun käsitellään kosteutta, täytyy aina tarkentaa, onko kyse suhteellisesta kosteudesta vai absoluuttisesta kosteudesta. Suhteellinen kosteus on vesihöyryn määrä suhteessa siihen, kuinka paljon ilmassa voisi olla kosteutta ennen kuin se tiivistyy vedeksi. Suhteellinen kosteus muuttuu lämpötilan muuttuessa, koska lämpimässä ilmassa voi olla enemmän absoluuttista kosteutta kuin kylmässä ilmassa. Absoluuttinen [g/kg tai kg/kg] kosteus ilmaisee, kuinka paljon yhdessä kilossa ilmaa on vesihöyryä. (Sandberg 2014b: 81.) Absoluuttinen kosteus ei muutu lämpötilan muuttuessa, ellei lämpötila laske niin paljon, ettei siinä lämpötilassa olevassa ilmassa voi olla niin paljon kosteutta kuin lähtötilanteessa oli. Tällöin vesihöyry tiivistyy vedeksi. (Sandberg 2014b: 85.)



Kuva 2. Lämpötila laskee 22 asteesta 8 asteeseen. Suhteellinen kosteus muuttuu viidestäkymmenestä prosentista sataan prosenttiin ja absoluuttinen kosteus laskee 1,5 g/kg. (Sandberg 2014a: 132.)

Kuvassa 2 on esitetty piirtäen Mollierin diagrammin lämpötilan laskeminen 22 asteesta kahdeksaan asteeseen. Noin 11 asteessa osutaan kyllästyskäyrälle, ja tällöin vesihöyry tiivistyy vedeksi ja ilman absoluuttinen kosteus laskee. Esimerkiksi jäähdytyspatterilla saadaan tällä tavalla kuivattua ilmaa. (Sandberg 2014a: 132.)



Kuva 3. Lämpötila nousee nolasta asteesta 20 asteeseen. Sisällä on kosteuskuormaa joka nostaa absoluuttista kosteutta 5 g/kg, voidaan myös sanoa kosteuslisäksi. Suhteellinen kosteus laskee kuudestakymmenestä viiteenkymmeneen prosenttiin. (Sandberg 2014a: 141.)

Kuvassa 3 on kuvattu piirtämällä Mollierin diagrammiin ulkoa tulevan ilman lämpenemisen ja sisällä olevan kosteuskuorman vaikutus. Ulkoa tuleva ilma lämpenee sisälle tullessa 0 °C:sta 20 °C:seen ja sisällä olevat kosteuskuormat nostavat absoluuttista kosteutta. Todellisuudessa kosteus nousisi koko ajan lämpötilan kanssa, mutta yksinkertaisen havainnollistamisen takia on molemmat piirretty erikseen. (Sandberg 2014a: 141.)

Kosteuslisä tarkoittaa, kuinka paljon enemmän esimerkiksi asunnossa on absoluuttista kosteutta kuin ulkona. Esimerkiksi, kun ulkona on 4 g/kg absoluuttista kosteutta ja sisällä 8 g/kg, tällöin kosteuslisä on 4 g/kg. (Leivo 1998: 24.) Lämpötilalla kosteuslisä on muodossa g/m³. Anturit, joita asuntoihin on asennettu, mittaavat suhteellista kosteutta. Kosteuslisä on laskettu suhteellisen kosteuden, höyrynpaineen, lämpötilan ja vakion C avulla

(yhtälö 1). Tässä opinnäytetyössä kosteuslisät on esitetty samassa muodossa, eli kuinka monta grammaa kostetta on kuutiossa ilmaa g/m³. (Humidity conversion formulas 2013: 12.) Tätä ei voi suoraan katsoa Mollierin diagrammista, mutta sen saa kuitenkin muutettua yksikköön g/kg yhtälöllä (3) (Sandberg 2014a: 216).

$$A = c \times \frac{P_w}{T} = P_w = \frac{A \times T}{c} \quad (1)$$

$$P_w = P_{ws} \times \frac{RH_s}{RH_{max}} \quad (2)$$

P_w on vesihöyryn osapaine Pa

P_{ws} on höyrynpaine sisälämpötilassa Pa

RH_s on suhteellinen kosteus sisällä %

RH_{max} on suhteellinen kosteus korkeintaan 100%

A on vesihöyryn määrä ilmassa g/m³

C on vakio 2,16679 gK/J

T on lämpötila K

Yhtälöllä 1 tai 2 (Sandberg 2014a: 125) saadaan laskettua vesihöyryn osapaine, jota tarvitaan yhtälössä 3.

$P_w = P_h$ on vesihöyryn osapaine

$$X = \frac{M_h P_h}{M_i P_i} = 0.622 \times \frac{P_h}{P_i} \quad (3)$$

X on absoluuttinen kosteus g/kg

M_h on vesihöyryn moolimassa 18 kg/mol

$P_h = P_w$ on vesihöyryn osapaine

M_i on ilman moolimassa 29 kg/mol

P_i on ilmanpaine 101,3 kPa

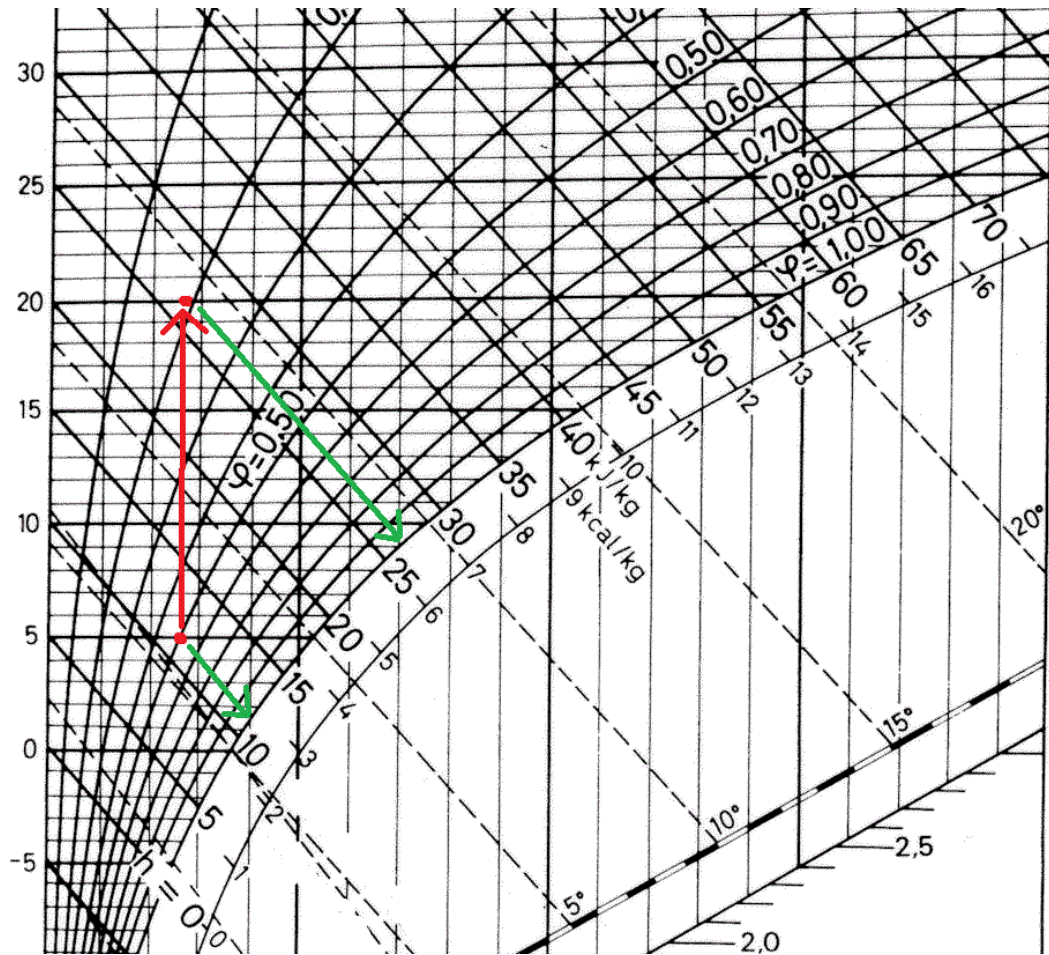
Näitä yhtälöitä käyttäen (yhtälö 1 tai 2 ja 3) saadaan muutettua kosteuslisä g/m^3 muotoon g/kg . Alla on käytetty yhtälöitä 1 ja 3.

$$A = C \times \frac{P_w}{T} \rightarrow P_w = \frac{A \times T}{C}$$

$$X = 0.622 \times \frac{P_w}{P_i}$$

X on absoluuttinen kosteus g/kg

Vesi voi olla kiinteässä muodossa, nestemäisenä tai kaasuna. Luonnostaan tapahtuvissa muutoksissa energiaa sitoutuu tai vapautuu. Jään sulaessa ja veden höyrystyessä sitoutuu energiaa, ja päinvastoin höyryn tiivistyessä ja veden jäätyessä vapautuu energiaa. Veden jäätyessä vesi luovuttaa lämpöenergiaa ilmaan, ja vesihöyry sitoo lämpöenergiaa, jolloin tulee sumua, eli pieniä vesipisaroita on havaittavissa ilmassa. (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 6–7.) Vesihöyryn energiasisältö on suuri. Jos ilmaa halutaan kuivata, tarvitaan siihen yhtä paljon energiaa kuin vesihöyry sisältää. Sama pätee, jos halutaan kosteuttaa ilmaa, tarvitaan yhtä paljon energiaa kuin vastaava määrä vesihöyryä. (Sandberg 2014b: 81.) Ilman kosteuttamiseen tai kuivamiseen tarvittava energia lasketaan entalpian $[\text{kJ/kg}]$ muutoksen avulla. Entalpian voi lukea Mollierin diagrammista, kun tietää kaksi arvoa: ilmanlämpötilan, suhteellisen kosteuden tai absoluuttisen kosteuden. Otetaan tarkasteluun tilanne, jossa ilma lämmitetään viidestä asteesta 20 asteeseen. (Sandberg 2014a: 129.)



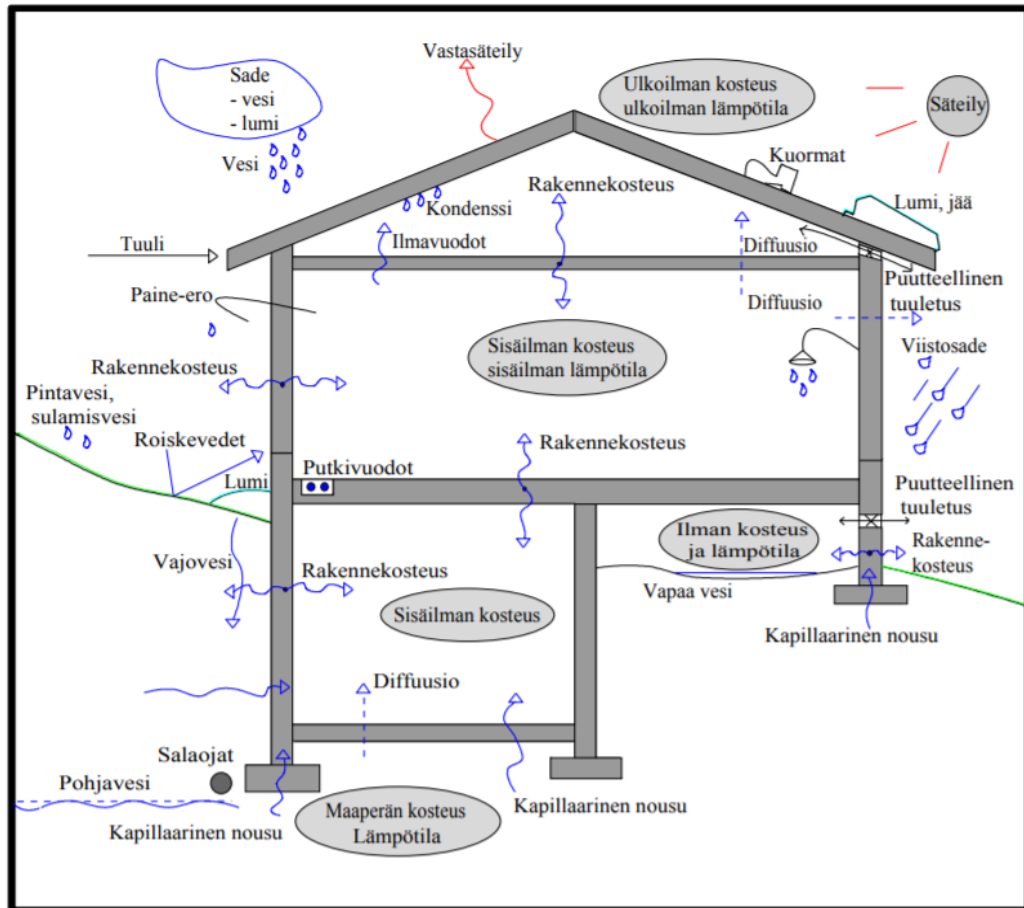
Kuva 4. Lämpötila nousee viidestä asteesta 20 asteeseen. Entalpia on viidellä asteella 12 kJ/kg ja 20 asteella 27 kJ/kg. Entalpia ero on 15 kJ/kg. (Sandberg 2014a: 129, 131.)

Kuvassa 4 Mollierin diagrammiin on piirretty lämpötilan nousu ja esitetty entalpian muutos. Entalpiaero on 15 kJ/kg, mikä tarkoittaa, että yhden kilogramman lämmittämiseen tarvitaan 15 kJ energiaa. (Sandberg 2014a: 129, 131.)

2.1 Mistä kosteus tulee?

Ilman suhteellinen kosteus ulkona on kesällä 65–75 % ja talvella 85–90 %. Suhteellinen kosteus ei siis paljon muutu vuoden aikojen mukaan, mutta, kun verrataan absoluuttista kosteutta, huomataan, että kesällä on noin viisi kertaa enemmän vesihöyryä ilmassa kuin talvella. Mitä kylmempää on, sitä vähemmän ilmassa voi olla enintään absoluuttista kosteutta. (Leivo 1998: 22.) Sisällä kosteutta muodostuu muun muassa ihmisistä, ruuan laitosta, siivouksesta, pyykeistä, suihkusta ja ilmanvaihdesta. Kosteuteen vaikuttaa merkittävästi, asuuko asunnossa viiden henkilön perhe vai eläkkeellä oleva pariskunta. Lisäksi

kosteuteen vaikuttavat myös asukkaiden tottumukset, esimerkiksi suihkussa käynti ja ilmastoinnin mahdollinen säätäminen. Sisäilman kosteuteen vaikuttaa ulkoilman kosteus ja sisällä muodostuvat kosteuskuormat. Sisäilman kosteuskuorman oletetaan olevan 2–4 g/kg. (Leivo 1998: 24.)



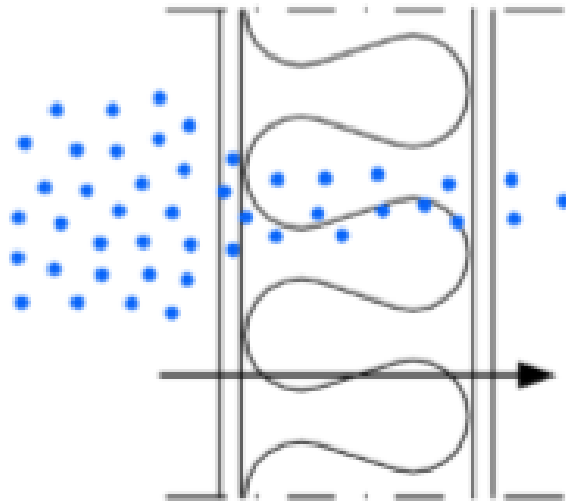
Kuva 5. Rakennusta ja rakenteita rasittavat kosteuslähteet (Leivo 1998: 21).

Kuvassa 5 on kuvattu eri kosteuslähteet ja kosteuden siirtyminen. Konvektiota ja difфуsioita on kuvattu alla lisää. Kuten kuvasta nähdään, sisäilman kosteuteen vaikuttaa moni eri tekijä. Osa näistä tekijöistä ei ole hallittavissa, kuten esimerkiksi tuuli ja sen tuoma paine-ero, sade tai auringonpaiste.



Kuva 6. Kuvattu konvektiota ja sitä, kuivaako se rakennetta vai onko konvektiolla rakennetta kosteleva vaikutus (Pitkäranta 2016: 116).

Kuvassa 6 on kuvattu konvektiota, joka on ilmansiirtymistä ja samalla se siirtää kosteutta. Konvektiota tapahtuu rakenteiden läpi vuotokohdissa. Konvektio on paine-erosta johtuvaa ilmavirtaa. Konvektion kuivattavaa tai kosteuttavaa vaikutusta tarkastellaan lämpötilan ja suhteellisen kosteuden avulla. Kuivattava vaikutus on, kun ilmavirta lämpenee seinän sisällä ja ilman suhteellinen kosteus ei ole 100 %. Kuivaava vaikutus on silloin, kun ilmavirran suunta on ulkoa sisälle päin. Kosteuttava vaikutus on, kun ilma jäähtyy seinän sisällä. Tällöin suhteellinen kosteus kasvaa ja on vaarana, että kosteus tiivistyy rakenteeseen. (Pitkäranta 2016: 115.)



Kuva 7. Vesihöyryn diffuusio. Siniset pallot kuvaavat vesihöyryn määrää ja nuoli diffuusion suuntaa. (Pitkäranta 2016: 113.)

Kuvassa 7 on kuvattu diffuusiota. Kosteutta liikkuu sisältä ulospäin diffuusiona, vaikka ilmavirta olisikin toisin päin. Diffuusio on kosteuden liikkumista vesihöyrynä rakenteiden läpi. Diffuusiosuunta on suuremmasta vesihöyryn määrästä pienempään, ja voimakkuus riippuu vesihöyryerosta. Tämä tarkoittaa kosteuden liikkumista sisältä ulospäin, koska sisällä on ilmassa enemmän vesihöyryä kuin ulkona. Diffuusioon vaikuttaa rakenteen vesihöyrypitoisuus. Diffuusion takia rakennuksiin laitetaan höyrysulut, jolla diffuusio pyritään estämään. Ongelma diffuusiosta syntyy, jos rakenteeseen menee enemmän kosteutta kuin rakenteesta läpimenevä ilma rakennetta kuivattaa. Varsinkin talvella kosteuden tiivistyminen vedeksi rakenteen sisällä on riski. (Kosteuden siirtyminen 2008.)

Rakenteisiin kosteutta voi päästä myös muuten kuin ilmasta. Käyttövesi-, lämmitys- ja viemäriputket ovat suurin osa piilossa rakenteiden sisällä, ja näiden putkien vuotaminen aiheuttaa kosteusvaurioita. (Leivo 1998: 24.)

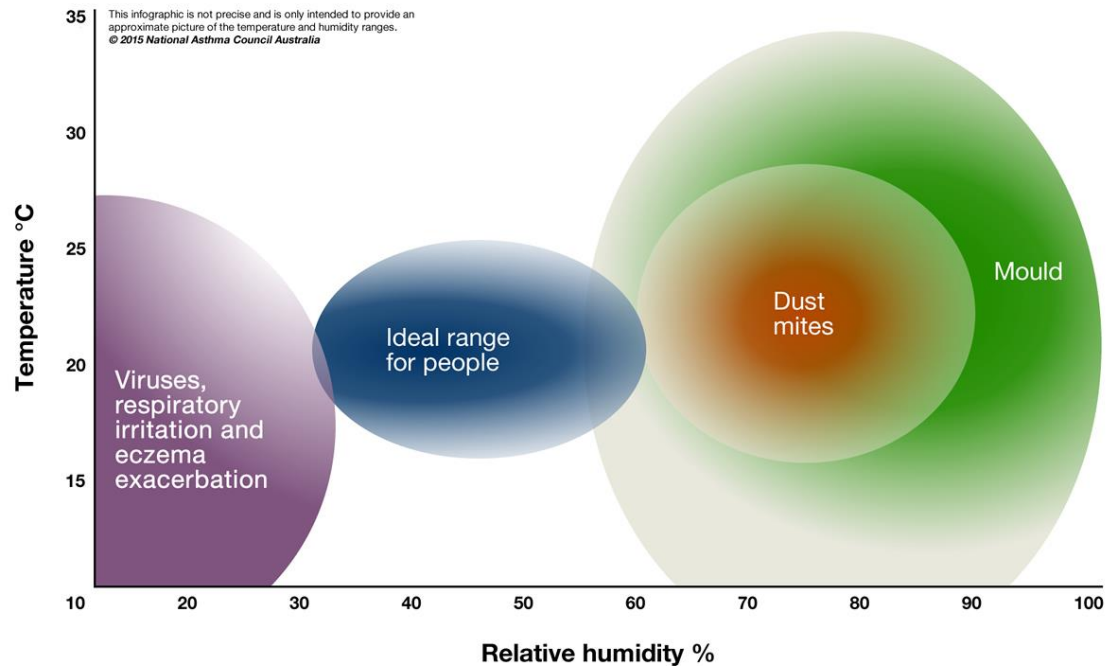
Esimerkkejä kosteusvaurioon viittaavista merkeistä

(Leivo 1998: 11):

- Sisäpinnoissa on kosteuslähkiä.
- Tapetti, keraaminen laatta, muovimatto, maali tai muu sisustusmateriaali irtoilee.
- Levyrakenteiset seinät tai kaapistojen sokkelit turpoavat tai kupruilevat.
- Parketti tummuu.
- Sokkelin tai kellariseinien sisäpintojen maali irtoilee paikoitellen.
- Ikkunat ovat jatkuvasti huurussa tai vesihöyry tiivistyy muille pinnoille.
- Kylpyhuone on pitkään kosteana suihkun jälkeen.
- Tiiliverhous on paikoin valkoinen vielä keskikesällä.
- Vesimittari pyörii, vaikka kaikki hanat ovat suljettuina.

2.2 Kosteuden vaikutukset rakenteisiin ja ihmisiin

Ihmiseen kosteus vaikuttaa esimerkiksi hengitykseen ja hikoiluun. Kosteuden kasvaessa myös pölypunkkien esiintyminen kasvaa, ja riski kosteuden tiivistymiselle rakenteisiin kasvaa. Nämä taas vaikuttavat mikrobikasvustoon. Kuivassa ilmassa limakalvojen kyky vastustaa tulehduksia vähenee, koska värekarvojen liike ja ilman poistuminen hengitysteistä heikkenee. (Asumisterveysohje 2003: 16.)



Kuva 8. Suhteellisen kosteuden ja lämpötilan merkitys ihmisen ideaaliseen sisäilmaan (National Asthma Council Australia).

Kuvassa 8 on esitetty lämpötilan ja suhteellisen kosteuden olosuhteita. Kuvasta nähdään lämpötilan merkitys kosteuteen. Kuva on Australian astmaliiton sivuilta. Australialainen suositus eroaa suomalaisesta asumisterveys-ohjeesta pienimmän suhteellisen kosteuden osalta, australialainen on 30–60 % (Australialainen suositus perustuu kuvaajaan National Asthma Council Australia), kun taas suomalainen on 20–60 %. Suhteellisen kosteuden tulisi siis olla Suomessa 20–60 %. Valitettavasti tähän ei aina päästä. Kesällä ulkolämpötila ja sisälämpötila voi olla sama, jos tällöin suhteellinen kosteus ulkona on yli 60 %, on se myös sisällä yli 60%, ellei sisäilmaa kuivata. Talvella ulko- ja sisälämpötilat eivät voi olla samat, mutta silti ei välttämättä päästä yli 20 %:n suhteelliseen kosteuteen. Kun ulkona absoluuttinen kosteus putoaa todella pieneksi ja asunnossa ei ole suurta kosteuskuormaa, asunnon suhteellinen kosteus jää alle 20 %:n. (Asumisterveysohje 2003: 16.)

2.2.1 Mikrobit ja home

Mikrobit ovat mikroskooppisen pieniä eliöitä, muun muassa virukset, bakteerit, sienet ja levät ovat mikrobeja. Mikrobeilla on erinomainen kyky sopeutua uusiin olosuhteisiin, ja

tämän vuoksi ne ovat levittäytyneet ympäri maapalloa. Ne myös lisääntyvät erinomaisesti. Huoneilmassa ihminen on lähde bakteereille ja viruksille. Virus tarvitsee isäntäsolun selvitäkseen. Isäntäsolun sisällä lisääntyessään virus aiheuttaa infektion. Bakteerit ja sienet eivät tarvitse isäntäsolua selvitäkseen. Sienillä toisin kuin bakteereilla on tuma, jossa perimäaine sijaitsee. Sienet pystyvät myös muodostamaan itiön. Kosteusvauriossa on yleensä kyse sienistä ja bakteereista. (Leivo 1998: 39.)

Home on rihmastoa muodostava sieni, joka tarvitsee kasvaakseen itiötä, ravinteita, vettä ja lämpöä. Kosteus on rakenteissa tärkein tekijä, joka vaikuttaa homekasvuton syntyyn. Homekasvustoa ei voi syntyä, jos suhteellinen kosteus on alle 30 % ja taas jos suhteellinen kosteus on yli 70 % on mikrobikasvusto todennäköistä. Home aloittaa kasvamisen itiöstä, joka tarvitsee kosteammat olosuhteet kuin itse homekasvusto. (Leivo 1998: 39–42.)

Rakennuksen pintojen kosteudella on paljon suurempi merkitys kuin ilmankosteudella. Lyhytaikainen kosteusrasitus, mikä pääsee kuivamaan ei ole haitaksi, mutta pitkäaikainen kosteus johtaa kosteusvaurioon. (Mikrobikasvun edellytykset 2008.)

Jos epäillään kosteusvauriota ja halutaan varmistaa asia, voidaan ottaa joko pinta- ja rakennusmateriaalinäyte tai ilmanäytteitä. Pinta- ja rakennusmateriaalinäytteet otetaan jonkin epäillyn kosteusvaurion pinnasta ja verrataan kuivasta ja puhtaasta kohdasta otettuun näytteeseen. Ilmanäytteessä tutkitaan sisäilmanpitoisuuksia ja verrataan niitä tavanomaisiin arvoihin. Ilmanäyte tulisi tehdä talvella, jolloin ulkoilman pitoisuus on pienin, tai sitten pitää ottaa myös näytteitä ulkoa. (Asumisterveysohje 2003: 73.)

2.2.2 Kosteuden vaikutukset terveyteen

Kosteuden katsotaan olevan terveyshaitta terveydensuojelulain 1§:n mukaan silloin, kun elinympäristössä olevasta tekijästä tai olosuhteesta aiheutuu sairastelua tai oireilua. Myös altistumista aineelle tai tekijälle, joka on terveydelle vaarallinen, pidetään terveyshaittana. Altistumiseksi kutsutaan tilannetta, jossa rakenteiden kostumisen ja mikrobikasvuston takia on sisäilmaan ajan saatossa siirtynyt epäpuhtauksia, mitkä voivat kulkeutua ihmisen silmiin, ihoon tai hengitysteihin. (Asumisterveysohje 2003: 72.) Altistuminen ei tarkoita samaa kuin sairastuminen (Reijula ym. 2012: 93).

Kosteus- ja homevaurioita ja niiden aiheuttamia terveyshaittoja on tutkittu paljon viime aikoina ja tutkimukset ovat tuottaneet merkittävää uutta tietoa. Taulukossa 1 on kuvattu kolmen eri tutkimuslaitoksen tulokset: onko kosteus- ja homevaurioilla terveysvaikutusta tiettyyn oireiseen. Ensimmäisen tutkimuksen teki Institute of Medicine Yhdysvaltojen kansallisakatemia vuonna 2004. Toisen teki World Health Organization Maailman terveysjärjestö vuonna 2009 ja kolmannen Mendell ym. 2011. (Reijula 2012: 91.)

Taulukko 1. Kosteus- ja homevaurioihin liittyvät terveysvaikutukset (ET = ei tutkittu) (Reijula 2012: 91)

Sairaus tai oire	IOM:n johtopäätös (2004)	WHO:n johtopäätös (2009)	Mendell ym. Johtopäätös (2011)
Astman paheneminen	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö
Astman syntyminen	Rajallinen tai viitelinen näyttö	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö
Yskä	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö
Hengityksen vinkuminen	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö
Hengenahdistus	Rajallinen tai viitelinen näyttö	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö
Ylempien hengitysteiden oireet	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö	Riittävä näyttö
Allerginen nuha	ET	Rajallinen tai viitelinen näyttö	Riittävä näyttö
Hengitystieinfektiot	ET	Rajallinen tai viitelinen näyttö	Riittävä näyttö
Keuhkoputkitulehdus	ET	Rajallinen tai viitelinen näyttö	Riittävä näyttö
Homepölykeuhko	Yhteys perustuu kliiniseen näyttöön	Yhteys perustuu kliiniseen näyttöön	Riittämätön näyttö
ODTS	Riittämätön näyttö	Riittämätön näyttö	ET
Maha-suolisto-oireet	Riittämätön näyttö	ET	ET
Heikotus	Riittämätön näyttö	ET	ET
Neuropsykologiset oireet	Riittämätön näyttö	ET	ET
Syöpä	Riittämätön näyttö	Riittämätön näyttö	ET
Reuma ja muut immunologiset sairaudet	Riittämätön näyttö	Riittämätön näyttö	ET
Lisääntymisterveys	Riittämätön näyttö	Riittämätön näyttö	ET

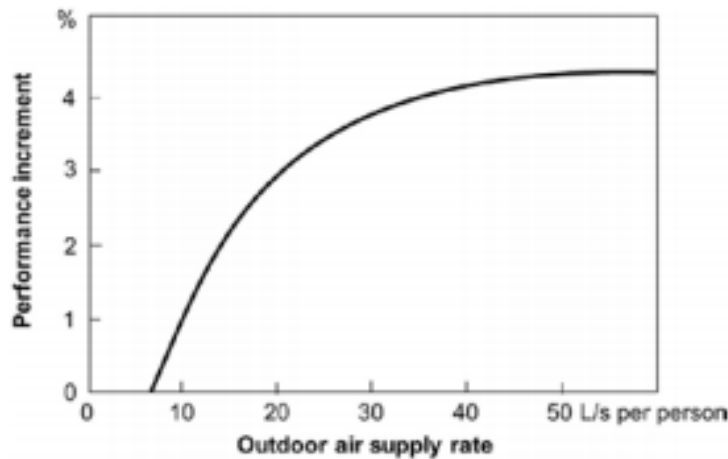
Taulukosta 1 nähdään, että kosteus- ja homevaurioilla on todettu olevan yhteys hengitystieoireisiin, muun muassa astman syntymiseen ja pahenimiseen. On myös todettu, että riski on suurempi lapsilla. Suomessa tehdyn tutkimuksen mukaan riski lapsen sairastumiseen kasvaa 2,8–4-kertaiseksi kosteusvauriosta riippuen. Astma on keuhkosairaus, jossa keuhkoputket supistelevat ja limakalvot ovat tulehtuneet. Tämä taas altistaa muille hengitystieoireille. On myös todettu yhteys hengityksen vinkumiseen ja hengityshädistykseen, keuhkoputkentulehdukseen ja allergisen alveoliittiin, joka tunnetaan homepölykeuhkona. Homepölykeuhkon tyypillisiä oireita on yskä, hengenahdistus ja kuume. (Reijula ym. 2012: 91.)

2.3 Kosteuden terveysvaikutusten huomiointi rakennusten suunnittelussa

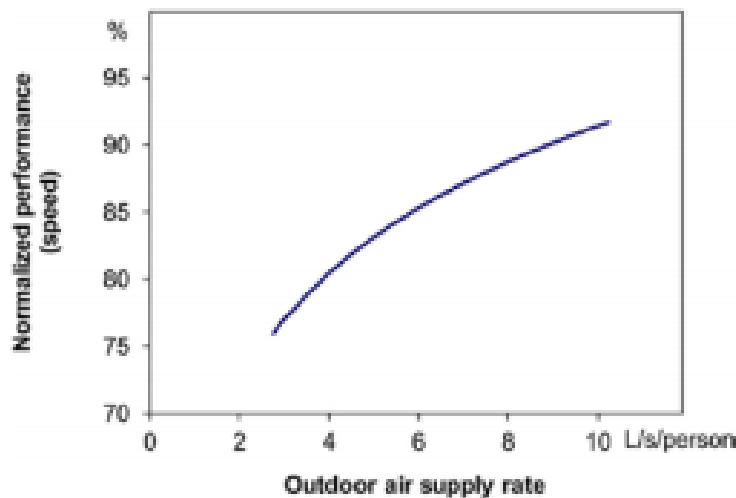
Vuonna 2014 tehdyssä EU:n EnVIE-projektissa todettiin, että huono sisäilma on EU:n alueella edelleen merkittävä terveyshaitta. Tupakansavu pois lukien sisäilman epäpuhtaudet aiheuttavat vuosittain kahden miljoonan henkilövuoden menetyksen ennen aikaisien kuolemien ja sairauksien johdosta. Tästä Suomen osuus on 20 000 henkilövuotta. Pienentämällä pienhiukkasten ja radonin määrää sisäilmassa voitaisiin pienentää lukua huomattavasti epäpuhtauslähteitä poistamalla ja ilmanvaihtoa parantamalla. (Seppänen ym. 2017: 5.)

EU:n komissio käynnisti HealthVent-projektin, jossa tutkittiin ilmanvaihdon suuruuden merkitystä terveysvaikutuksiin. Tutkimuksessa todettiin, että ilmanvaihdon ollessa 7–9 l/s, hlö oireet vähenevät, mutta koska valtaosa tutkimuksista oli vanhempia, ei projektiryhmä ehdottanut, että tämä ilmavirta otettaisiin käyttöön eurooppalaisena suositukseksi, vaan pyritään vähentämään emissiolähteitä ja näin voidaan myös ilmavirtaa pienentää. Ilmanvaihdon suositukseksi ehdotettiin 4 l/s, hlö, joka olisi minimiarvo silloin, kun ihminen on ainoa epäpuhtauslähte. (Seppänen ym. 2017: 6.)

Sisäilman laadulla on myös merkitystä työn tuottavuuteen toimistotyypisessä työssä ja kouluissa oppimistuloksiin. Jotta tuottavuus tai oppimistulokset paranisivat, ilmavirran tulee olla suurempi kuin asetuksissa ja ohjeissa annettu 6 l/s, hlö. Tuottavuus paranee ilmavirroilla 10–20 l/s, hlö. Kuvista 9 ja 10 nähdään tuottavuuden ja oppimisnopeuden paraneminen eri ilmavirroilla. (Seppänen ym. 2017: 6.)



Kuva 9. Toimistotyössä työn tuottavuuden paraneminen ilmanvaihdon kasvaessa (Seppänen ym. 2017: 6).



Kuva 10. Koululaisten oppimisnopeuden paraneminen ilmanvaihdon kasvaessa (Seppänen ym. 2017: 6).

Kuvasta 9 nähdään, miten ilmamäärä vaikuttaa tuottavuuteen toimistotyössä, ja kuvasta 10 nähdään, miten oppimisnopeus paranee ilmanmäärien kasvaessa (Seppänen ym. 2017: 5.)

2.4 Ilmanvaihto ja sen merkitys kosteuteen

Ilmanvaihdolla saadaan hallitusti poistettua ilmaa ja tuotua sitä. Kosteutta poistuu ilman mukana. Kosteutta poistuu enemmän, mitä suurempi ero on sisä- ja ulkoilman absoluuttisella kosteudella ja mitä suurempi ilmavirta on. Ilmanvaihtotapoja on monia erilaisia,

mutta kolme yleisintä ovat painovoimainen, koneellinen poisto- ja koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto. Näissä kolmessa ilma liikkuu hiukan eri tavalla, mutta kosteus poistuu samalla periaatteella. Jos ulko- ja sisätilan välillä ei ole kosteuseroa, ei kosteus poistu, ellei ilmaa käsitellä esimerkiksi kuivaamalla. Ja toisaalta, jos ilma ei liiku, ei kosteuskaan poistu. (Sandberg 2014b: 106, 114.)

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu tiheyseroon, joka syntyy sisäilman ja ulkoilman välille. Tiheys taas vaikuttaa suoraan paineeseen. Kylmällä tiheysero on suuri, ja ilmanvaihto toimii. Kesällä tiheysero on pieni, ja painesuhteista voi tulla negatiivinen, jolloin ilmanvaihto lakkaa toimimasta. Ilma poistuu katolla olevista piipuista tai horneista, ja korvausilma tulee korvausilmaventtiileistä ja rakenteiden raoista. Tuloilmaa ei käsitellä mitenkään, ja näin ollen kosteus ulkoa siirtyy suoraan sisätilaan. Kosteus poistuu rakennuksesta ilmastoinnin toimiessa, mutta kesällä, jos ilmanvaihto ei toimi, ei myöskään kosteus poistu. Paine-ero voidaan laskea yhtälöllä 4. (Sandberg 2014b: 114.)

$$\Delta_p = g \times \Delta_h \times \rho \times \left(\frac{T_s - T_u}{T_u} \right) \quad (4)$$

Δ_p on paine-ero (Pa)

g on putoamiskiihtyvyys (9,81 m/s²)

Δ_h on korkeus ero (m)

ρ on ilman tiheys (kg/m³)

T_u on ulkolämpötila (K)

T_s on sisälämpötila (K)

Keskitetty poisto on ilmanvaihto, jossa on yksi poistokone usealle asunnolle. Poistoventtiilit ovat usein keittiössä ja WC-tiloissa. Korvausilma otetaan ulkoa erilaisten korvausilmaventtiilien avulla. Keskitetyssä poistossa korvausilma tulee samalla lailla kuin painovoimaisessa, ja näin ollen myöskään siinä ulkoa tulevan absoluuttisen kosteuden määrä ei muutu. Koneellisessa poistossa ilma vaihtuu koko ajan, ja ilman poistuessa poistuu myös kosteutta. (Sandberg 2014b: 121.)

Koneellisia tulo- ja poistoilmanvaihtoja on kahta eri tyyppiä: keskitetty ja huoneistokohtainen. Keskitetyssä tulo- ja poistoilmanvaihdossa on usealle asunnolle sama ilmanvaihtokone. Huoneistokohtaisessa on jokaisessa asunnossa oma ilmanvaihtokone. Molempien ilmanvaihtojärjestelmien koneissa on LTO, joka tekee tästä ainoan järjestelmän,

jossa lämpöä ei päästetä suoraan ulos, vaan se otetaan talteen ja hyödynnetään. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto on ainut järjestelmä, jossa ilmaa voidaan kosteuttaa tai kuivata erilaisilla kuivaimilla tai kostuttimilla. (Sandberg 2014b: 121.) Suomessa ei yleensä käytetä kostutinta muuta kuin prosessiteollisuudessa, jossa on tarkat raja-arvot kosteudelle. Myöskään kuivaimia ei käytetä usein kuin teollisuudessa. Ilmaa saadaan kuivattua myös jäähdyttämällä sitä jäähdytyspatterilla, kun patterin pintaan kondensoituu vettä ilmakuivaa. Kondensoitumista tapahtuu, koska patterin pintalämpötila on matalampi kuin patterille tulevan ilmankastepiste. (Sandberg 2014a: 123,131.)

2.4.1 Ilmanvaihdon suunnittelu

Ilmastoinnin suunnittelun lähtökohta on, että sisäilmasta saadaan turvallinen, terveellinen ja viihtyisä. Tämä tarkoittaa, että suunnittelussa huomioidaan sisäiset kosteus-, lämpö-, henkilö-, prosessi- ja rakennuskuormat. Pitää myös huomioida ulkoiset kuormittajat, kuten sää, ilmanlaatu ja muut ympäristötekijät. Myös rakentamismääräyskokoelma tulee ottaa huomioon ilmanvaihtoa suunnitellessa. Ensimmäinen rakennusten ilmanvaihtoa koskeva määräys on tullut voimaan 1.6.1976, ja uusin uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1.1.2018. Määräys on uudistettu vuonna 1978, 1987, 2003, 2010 ja 2012. Määräys koskee aina määräyksen voimaan tulon jälkeen rakennettavia rakennuksia ja määräyksestä riippuen vireillä olevia rakennuksia. Nykyistä määräystä sovelletaan vireillä oleviin hankeisiin. Määräys koskee myös rakennuksiin tehtäviä laajennuksia. (Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2; Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2018.)

Jotta sisäilmasta saataisiin turvallinen, terveellinen ja viihtyisä pitää lämpötilan, kosteuden ja ilmanlaadun täyttää tietyt vaatimukset. Lämpötilaksi rakennuksessa suunnitellaan yleensä 21 °C. Kosteuden tulee olla sellaisella tasolla, ettei se aiheuta kosteusvaurioita, mikrobi tai pieneliöidenkasvua. Kosteus ei saa myöskään tiivistyä rakenteisiin tai ilmanvaihtojärjestelmään. Ilmanlaatuun vaikuttaa haitalliset kaasut, hiukkaset ja mikrobit. Näistä useinmiten seuratuin ja suunnittelua ohjaava on hiilidioksidi. Hiilidioksidipitoisuus saa olla vanhan SRMK D2 2012:n mukaan enintään 2 160 mg/m³ eli 1 200 ppm (Parts per million esimerkiksi mg/kg). Uusi määräys uuden rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihdosta antaa arvoksi 1 450 mg/m³ (800 ppm suurempi kuin ulkoilman pitoisuus), kun ulkoilman pitoisuutena käytetään 400 ppm tämä tarkoittaa, että sisällä saa hiilidioksidipitoisuus olla 1 200 ppm. Ilmavirrat suunnitellaan henkilökuorman perusteella, ellei ole jotain perustetta käyttää muuta mitoittavaa tekijää. Esimerkiksi keittiössä uunit ja muut

keittiökalusteet tuottavat lämpökuormaa paljon enemmän kuin ihminen, ja silloin ne ovat mitoittava tekijä, jotta saataisiin hyvä sisäilma. (SRMK D2 2012: Luku 2; Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmasto ja ilmanvaihdosta 2017: 5§.)

Ilmanvaihtojärjestelmä suunnitellaan uuden ohjeen mukaan tasapainoon, jottei paine-eroa rakennuksen vaipan yli synny kumpaakaan suuntaan. Ilmanvaihdon aiheuttama paine-ero tulisi olla 0–(–10) Pa, mikä viittaa siihen, että ilmanvaihtoa vieläkin suositellaan suunnittelemaan alipaineiseksi. On myös mainittu että, tilat, joista tulee kosteuskuormaa alipaineistetaan. Näitä tiloja on käytännössä kaikki huonetilat, joita kerrostalo asunnoissa on. (Talotekniikkainfo 8 Ilmanvaihto.) Aikaisemmin Ilmanvaihto suunniteltiin asuinrakennuksissa ja asuinhuoneistossa 5–10 % alipaineiseksi sen vuoksi, ettei kosteus pääse sisältä asunnosta rakenteisiin. Alipaine aiheuttaa sen, että rakenteiden läpi tulee ulkoa korvausilmaa. Tämän vuoksi ei voida alipaineistaa liikaa, tai on riskinä, että kosteus tiivistyy rakenteiden vuotokohdissa rakenteiden jäähtymisen vuoksi. (Sandberg 2014b: 97.)

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 2012 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, on kaksi määräystä, jotka ohjaavat suunnittelua. Määräyksessä D2 ei ole mainittu jotain tiettyä arvoa, paljonko kosteuden pitäisi olla tai paljonko maksimissaan saa olla. Myös uudessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on kaksi määräystä kosteudesta, myöskään niissä ei ole esitetty mitään arvoja. Määräykset on esitetty luvussa 2.4.3 Määräyksiä kosteudesta. Myös asunnon sisällä tulee painesuhteet huomioida. Kaikki tilat, joissa syntyy epäpuhtauksia, täytyy alipaineistaa. Kosteus luokitellaan epäpuhtaudeksi ja kaikki tilat, joissa kosteuskuormaa tulee enemmän kuin normaalisti ihmisestä tulee alipaineistaa. (Suomen rakentamismääräyskokoelma D2: 2012: Luku 2; Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta; Talotekniikkainfo 8 ilmanvaihto; Talotekniikkainfo 9 ulkoilmavirta.)

Uudessa määräyksessä ilmamäärät ovat 6 l/s henkilöä kohden, kuitenkin niin, että ulkoilmavirran on oltava vähintään 0,35 (l/s)/m² ja asuinhuoneiston vähimmäisilmamäärä on 18 l/s. Suomen LVI-liiton tekemän asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitusoppaan mukaan voidaan ilmamäärä laskea koko asuntoon seuraavasti: vähintään 18 l/s, jokaiseen asuinhuoneeseen, vähintään 0,35 l/s,m², jokaiseen asuinhuoneeseen, vähintään 8 l/s ja yli 11 m² makuuhuoneisiin 12 l/s ja lisäksi saunaan 6 l/s. Suomen LVI-liitto on myös tehnyt taulukon suunniteltavien ilmavirtojen avuksi. (Seppänen ym. 2017: 4)

Taulukko 2. Asunnon tilojen normaalin käyttötilanteen ulkoilma- ja poistoilmavirrat (Seppänen ym. 2017: 6).

Huonetila	Ulkoilmavirta dm ³ /s	Poistoilmavirta dm ³ /s	Huomautus
Suurin tai ainoa makuuhuone tai yli 11 m ² makuuhuone	12		
Muut makuuhuoneet	8		
Muut asuinhuoneet kuten olohuone alle 22 m ² , ei kuitenkaan keittiö	8		Ulkoilma voidaan osittain korvata siirtoilmalla makuuhuoneesta.
Muut asuinhuoneet kuten olohuone yli 22 m ² , ei kuitenkaan keittiö	0,35 dm ³ /s,m ²		Ulkoilma voidaan osittain korvata siirtoilmalla makuuhuoneesta.
Keittiötila, keittiö, keittokomero, saarekekeittiö (KT)		8 (25)	Liesikuvun/keittiötilan ilmavirran tulee tehostustilanteessa olla vähintään 25 dm ³ /s. Ulkoilman saannista tehostuksen aikana on huolehdittava. Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta
Kylpyhuone WC:llä tai ilman (KPH)		10	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Erillinen WC (WC)		7	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Vaatehuone (VH)		6	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Varasto		6	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Huoneistos sauna (S)	6	6	
Kylpyhuoneesta erillään oleva kodinhoitohuone		8	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Tekninen tila		3 ³⁾	Mitoitetaan lämpökuorman mukaan, vähintään 3 dm ³ /s.

Taulukosta 2 nähdään, miten uudessa määräyksessä ilmavirrat tulisi suunnitella. Ihan-
netilanteessa rakennuksessa ei olisi yli- tai alipainetta, mutta käytännössä tämä on mah-
dotonta jo tuulen aiheuttaman paineen takia. Tuuli aiheuttaa niin yli- kuin alipainettakin.
Alipaineistamalla rakennuksen ilma liikkuu ulkoa sisälle päin. Tällöin ulkoa tuleva ilma
lämpenee seinän sisällä ja suhteellinen kosteus pienenee. Ilma pystyy tällöin samalla
sitomaan kosteutta seinästä ja kuivaamaan seiniä. Jos rakennuksesta tulee ylipaineinen,
ilma liikkuu sisältä ulospäin. Tällöin ilma jäähtyy seinän sisällä, ja on vaarana, että ilman
jäähtyminen aiheuttaa ilmakehän tiivistymisen. Ylipaineisena rakennuksen kosteus
siirtyy sisältä rakenteisiin. (Leivo 1998: 15).

2.4.2 Ilmankosteuteen vaikuttavien tekijöiden laskentaa

Kosteuskuormituksen perusteella mitoitettava ilmanvaihto voidaan laskea yhtälöllä 5, ilmanvaihdon ollessa tasapainotilassa. Tasapainotilassa poisto- ja tuloilmavirta ovat yhtä suuret. (Sandberg 2014b: 106.)

$$q_v = \frac{g_h}{\rho_i(X_{poisto} - X_{tulo})} \quad (5)$$

q_v on ilmavirta m^3/s

ρ_i on ilman tiheys kg/m^3

X on ilman absoluuttinen kosteus g/kg

g_h on kosteuden poistotarve g/s

Ihmisestä tulee lämpö- ja kosteuskuormaa huoneeseen. Ihminen luovuttaa lämpöä ja kosteutta yhteensä 80 W ja 45 W sidottua kosteutta, mikä vastaa 65 g/h tai 0,0181 g/s vesihöyryä. Tämä tarkoittaa, että tarvitaan ilmanvaihto poistamaan ihmisestä lähtevä kosteuskuorma. Jos oletetaan, että tuloilma olisi 2 g/kg kuivempaa kuin poistoilma, saadaan laskettua yhtälöllä 5 tarvittava ilmavirta kosteuden poistamiseksi. Tuloilman kosteus on sama kuin ulkona oleva kosteus, ellei ilmanvaihto järjestelmässä ole kostutusta, kuivausta tai jäähdytystä. Poistoilman kosteus on taas sama kuin sisäilman kosteus. (Sandberg 2014a: 140.)

$$q_v = \frac{0.0181 \text{ g/s}}{1.2 \frac{kg}{m^3} \times 2 \text{ g/kg}} = 0.0075 \frac{m^3}{s} = 7.5 \frac{l}{s}$$

Ilmanvaihto mitoitetaan usein tuloilmaa kuusi litraa sekunnissa jokaista henkilöä kohden. Kun tiedetään tämä, voidaan laskea yhtälöllä 5, kuinka paljon kuivempaa ilman pitää olla, jotta se kuivaa/poistaa ihmisestä tulevan kosteuskuorman.

q_v on ilmavirta $6 \text{ l/s} = 0,006 \text{ m}^3/s$

ρ_i on ilman tiheys $1,2 \text{ kg/m}^3$

g_h on kosteuden poistotarve $0,0181 \text{ g/s}$

$$q_v = \frac{g_h}{\rho_i \times X} \rightarrow X = \frac{g_h}{q_v \times \rho_i} \quad (6)$$

$$X = \frac{0.0181 \text{ g/s}}{0.006 \text{ m}^3/s \times 1.2 \text{ kg/m}^3} = 2.5 \text{ g/kg}$$

X on 2,5 g/kg

Siten huoneessa, jossa on yksi ihminen ja tasapaino tilanteessa oleva ilmanvaihto, pitää tuloilman olla 2,5 g/kg kuivempaa kuin poistoilman, jotta kosteuskuorma poistuu.

Taulukko 3. Esitetty eri kosteuslähteistä tulevia kosteuskuormia (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 15).

Kosteuslähde	Kosteustuotto
Ihminen	40-300 g/h riippuen aktiivisuudesta (keskimäärin 90 g/h)
Kylpy	700 g/h
Suihku	2 600 g/h
Keittiötoiminta	600-1 500 g/h päivittäinen keskiarvo noin 100 g/h
Avoin vesipinta	40 g/m ² h
Kasvit	Pieni 7-15 ja keskikokoinen 10-20 g/h
Vaatteiden pesu ja kuivaus	Lingottu pyykki 10-50 g/h /kg kuivaa pyykkiä Vettä tippuva 20-100 g/h /kg kuivaa pyykkiä

Taulukosta 3 voidaan katsoa eri kosteuslähteiden aiheuttamat kosteuskuormat. Voidaan myös laskea, minkälaiset olosuhteet on sisällä ja kuinka paljon ne muuttuvat tietyssä ajassa, jos kosteuskuorma muuttuu. Yhtälöllä 7 voidaan laskea, kuinka paljon sisällä on kosteutta yhdessä kuutiossa ilmaa. (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 14.)

$$A_s = A_u + \frac{g_h}{nV} \quad (7)$$

A_s on vesihöyrypitoisuus sisällä g/m³

A_u on vesihöyrypitoisuus ulkona g/m³

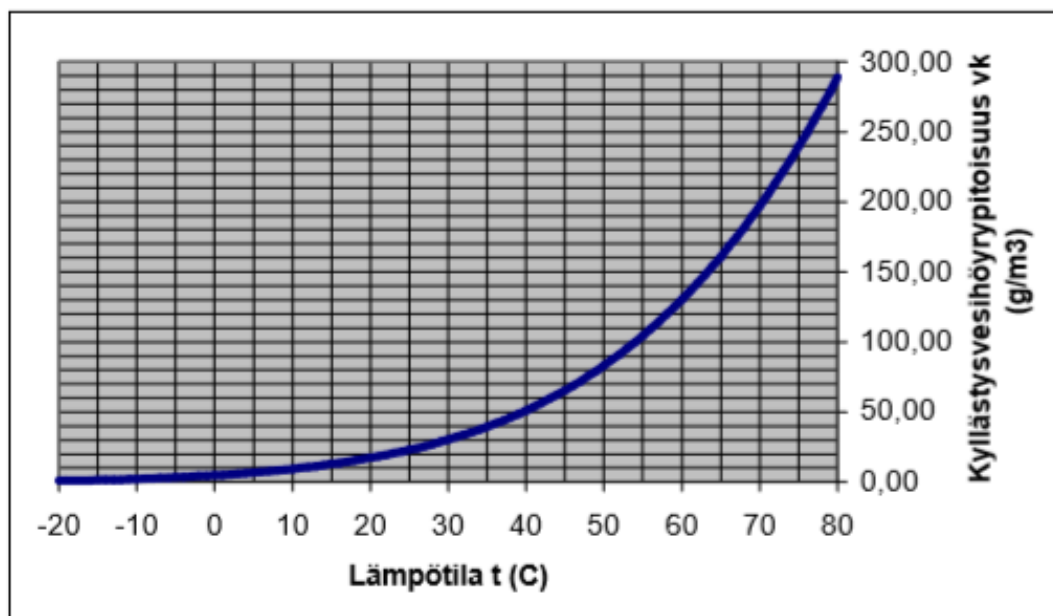
g_h on kosteuskuorma g/h

n on ilmanvaihtokerroin 1/h

V on tilavuus m³

Tietämällä lämpötila voidaan laskea yhtälöllä 8 kyllästysvesihöyrypitoisuus A_{\max} eli kuinka paljon tietyllä lämpötilalla voi ilmassa enintään olla vesihöyryä ennen kuin se tiivistyy vedeksi.

$$A_{\max} = 4.85 + 3.47 \left(\frac{t}{10} \right) + 0.945 \left(\frac{t}{10} \right)^2 + 0.158 \left(\frac{t}{10} \right)^3 + 0.0281 \left(\frac{t}{10} \right)^4 \quad (8)$$



Kuva 11. Kuvattu ilman kyllästysvesihöyrypitoisuus lämpötilan funktiona (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 8).

Kuvasta 11 nähdään hyvin, miten lämpötila vaikuttaa siihen, kuinka paljon ilmassa voi olla kosteutta (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 9).

Kun tiedetään suhteellinen kosteus, voidaan laskea yhtälöllä 9, kuinka paljon ilmassa on vesihöyryä (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 7).

$$A = \varphi \times A_{max} \quad (9)$$

φ on suhteellinen kosteus

Voidaan myös laskea, kuinka paljon kosteus kasvaa, kun kosteuskuorma muuttuu. Jos otetaan tarkasteluun 50 neliön kaksio, jossa asuu kaksi ihmistä, ilmanvaihto on mitoitettu 6 l/s henkilöä kohden molempiin huoneisiin eli yhteensä 24 l/s. Oletetaan, että huonekorkeus on 2,5 metriä. Oletetaan myös, että kosteuskuormaa ei asunnossa ole, kun asukkaat eivät ole paikalla. Näin ollen sisällä ja ulkona on yhtä paljon vesihöyryä g/m³ ilmassa. Tarkastellaan kesätilannetta, kun ulkona on 25 astetta, sisällä on 23 astetta ja suhteellinen kosteus on ulkona 65 %. Ensimmäiseksi lasketaan ulkoilman vesihöyrypitoisuus yhtälöllä 8 ja 9, josta saadaan 14,95 g/m³.

$$A_{max} = 4.85 + 3.47 \left(\frac{25}{10}\right) + 0.945 \left(\frac{25}{10}\right)^2 + 0.158 \left(\frac{25}{10}\right)^3 + 0.0281 \left(\frac{25}{10}\right)^4 = 23.00 \text{ g/m}^3$$

$$A = \varphi \times A_{max} \rightarrow A = 0.65 \times 23.00 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 14.95 \text{ g/m}^3$$

Seuraavaksi lasketaan sisäilman suhteellinen kosteus samoilla yhtälöillä, mutta yhtälöllä 9 lasketaankin suhteellinen kosteus.

$$A_{max} = 4.85 + 3.47 \left(\frac{23}{10}\right) + 0.945 \left(\frac{23}{10}\right)^2 + 0.158 \left(\frac{23}{10}\right)^3 + 0.0281 \left(\frac{23}{10}\right)^4 = 20.54 \text{ g/m}^3$$

$$A = \varphi \times A_{max} \rightarrow \varphi = \frac{A}{A_{max}} = \frac{14.95 \text{ g/m}^3}{20.54 \text{ g/m}^3} = 0.73 = 73\%$$

Siten sisällä on 8 % suurempi suhteellinen kosteus kuin ulkona johtuen lämpötilaerosta, vaikka vesihöyryä ilmassa on yhtä paljon. Nyt tiedetään, paljon oli lähtötilanteen suhteellisen kosteuden suuruus sisällä, joten voidaan laskea kuinka paljon se kasvaa, kun sinne tulee kosteuskuormaa. Käytetään yhtälöä 10 ja lasketaan ilmanvaihtokerroin yhtälöllä 11. Lasketaan, kuinka paljon kosteus kasvaa neljän tunnin aikana. (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 14.)

$$A_s = A_u + \frac{g_h}{nV} (1 - e^{-nt}) \quad (10)$$

t on aika 4 h

V on $50 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m} = 125 \text{ m}^3$

A_u on $14,95 \text{ g/m}^3$

g_h on $2 \times 90 \text{ g/h} + 100 \text{ g/h} = 280 \text{ g/h}$

$$n = \frac{qv}{V} = \frac{24 \text{ l/s} \times 3600 \text{ s/h}}{1000 \text{ l/m}^3 \times 125 \text{ m}^3} = 0.69 \frac{1}{h} \quad (11)$$

n on $0,69 \text{ 1/h}$

$$A_s = 14.95 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} + \frac{\frac{280 \text{ g}}{\text{h}}}{0.69 \frac{1}{h} \times 125 \text{ m}^3} (1 - e^{-0.69 \times 4}) = 17.99 \text{ g/m}^3$$

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} = \frac{17.99 \text{ g/m}^3}{23.00 \text{ g/m}^3} = 0.78 = 78\%$$

Siten suhteellinen kosteus nousee 5 % neljän tunnin aikana. Laskennassa ei ole otettu huomioon sitä, että ihmisestä tulee myös lämpökuormaa ja varsinkin kesällä, jos asunnossa on kylmempi kuin ulkona pyrkii lämpötila tasaantumaan ja tämä tarkoittaa, että asunto pyrkii lämpenemään. (Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus) 2004: 14.)

Kesällä suhteellinen kosteus nousee siis vain 5 %, mutta jos kosteus nousee yli 70 % on todennäköistä, että mikrobikasvustoa alkaa kehittyä (Leivo 1998: 45). Lasketaan seuraavaksi talvitilanne. Ulkona on -10 astetta ja suhteellinen kosteus on 90 %. Sisällä on 21 astetta ja tilanne on muuten sama kuin edellisessä (Yhtälö 8 ja 9).

$$A_{max} = 4.85 + 3.47 \left(\frac{-10}{10} \right) + 0.945 \left(\frac{-10}{10} \right)^2 + 0.158 \left(\frac{-10}{10} \right)^3 + 0.0281 \left(\frac{-10}{10} \right)^4 = 2.20 \text{ g/m}^3$$

$$A = 0.9 \times 2.20 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 1.98 \text{ g/m}^3$$

Sisätilan olosuhteet.

$$A_{max} = 4.85 + 3.47 \left(\frac{21}{10} \right) + 0.945 \left(\frac{21}{10} \right)^2 + 0.158 \left(\frac{21}{10} \right)^3 + 0.0281 \left(\frac{21}{10} \right)^4 = 18.31 \text{ g/m}^3$$

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} = \frac{1.98 \text{ g/m}^3}{18.31 \text{ g/m}^3} = 0.11 = 11\%$$

Neljän tunnin päästä.

$$A_s = 1.98 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} + \frac{\frac{280 \text{ g}}{\text{h}}}{0.69 \frac{1}{\text{h}} \times 125 \text{ m}^3} (1 - e^{-1.2 \times 4}) = 5.02 \text{ g/m}^3$$

$$\varphi = \frac{A}{A_{max}} = \frac{5.02 \text{ g/m}^3}{18.31 \text{ g/m}^3} = 0.27 = 27 \%$$

Talvella kosteuden nouseminen on hyvä asia, sillä alle 20 %:n suhteellinen kosteus voi aiheuttaa oireilua ja se voidaan tuntea epämiellyttävänä. Talvella suhteellinen kosteus nousee helposti kosteuskuormien johdosta, kun ilmassa on niin vähän valmiiksi kosteutta.

Tuulen vaikutus rakennukseen voidaan myös laskea yhtälöllä 12, ja tällöin nähdään, kuinka paljon rakennuksen tulisi olla alipaineinen, ettei painesuhteet muutu ja ilmavirta käännä suuntaa sisältä ulos päin (Sandberg 2014a: 555).

$$\Delta_p = C_p \frac{1}{2} \rho_u \times v^2 \quad (12)$$

Δ_p on tuulen aiheuttama paikallinen paine-ero

C_p on tuulen painekerroin Pa

ρ_u on ulkoilman tiheys kg/m³

v on ilmannoisuus m/s

Tuulen painekerroin rakennuksen takaa on $-0,8$. Siten tuuli aiheuttaa alipainetta rakennuksen seinustalle. (Sandberg 2014a: 555.) Tällöin jos sisällä oleva alipaine on pienempi kuin tuulen aiheuttama alipaine, alkaa ilma virrata sisältä ulos ja tämä aiheuttaa riskin kosteuden tiivistymiselle.

$$\Delta_p = -0,8 \times 0,5 \times 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = -1,93 \text{ pa}$$

Tuuliset säät voivat tehdä seinustalle jopa yli kymmenen pascalin alipaineen. Kun tuulen nopeus on 5 m/s paine-ero on jo 12 pascalia. Tuuli aiheuttaa myös ylipainetta samalla toiselle seinustalle.

2.4.3 Määräyksiä kosteudesta

Kosteudelle ei ole annettu mitään raja-arvoja määräyksissä vaan puhutaan, ettei kosteus saa aiheuttaa haittoja rakennukselle tai käyttäjälle. Määräyksissä ei oteta kantaa, miten tämä todetaan tai pitäisikö kosteus mitata. Kosteuskuormaa aiheuttavat tekijät tulee kuitenkin ottaa huomioon suunnittelussa. Painesuhde pitää myös huomioida, ja asunnoista tehdään vieläkin alipaineisia, jotta kosteus ei pääse rakenteisiin.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 2012 määräys 2.3.2 ja sen ohjeet ja selostukset ohjaavat rakennusten ilmanvaihtoa seuraavasti:

2.3.2 Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilman kosteus pysyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa.

Sisäilman kosteus ei saa olla jatkuvasti haitallisen korkea eikä kosteus saa tiivistyä rakenteisiin eikä niiden pinnoille tai ilmanvaihtojärjestelmään siten, että se aiheuttaa kosteusvaurioita, mikrobien tai pieneliöiden kasvua tai muuta terveydellistä haittaa.

2.3.2.1 Jos sisäilman kosteus ylittää arvon 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa, kostutetaan huoneilmaa vain painavista syistä esimerkiksi prosessin tai varastoinnin niin vaatiessa. Arvo 7 g H₂O/kg kuivaa ilmaa vastaa huoneilman tilaa, jossa suhteellinen kosteus on 45 %, kun huonelämpötila on 21 °C ja ilman paine on 101,3 kPa.

Alhaisesta sisäilman suhteellisesta kosteudesta aiheutuvien haittojen vähentämiseksi vältetään lämmityskauden aikana tarpeettoman korkeita huonelämpötiloja.

Suomen rakentamismääräyskokoelma osan D2 määräys 3.7.6 ja sen ohjeet ja selostukset ohjeistavat rakennusten ilmanvaihtoa seuraavasti:

3.7.6 Rakennuksen, sen huonetilojen ja ilmanvaihtojärjestelmän paineet on suunniteltava siten, että ilma virtaa puhtaammista tiloista sellaisiin tiloihin, joissa syntyy runsaammin epäpuhtauksia. Paineet eivät saa aiheuttaa rakenteisiin pitkäaikaista kosteusrasitusta.

3.7.6.1 Rakennus suunnitellaan yleensä ulkoilmaan nähden hieman alipaineiseksi, jotta voitaisiin välttyä kosteusvaurioilta rakenteissa sekä mikrobien aiheuttamilta terveyshaitoilta. Alipaine ei kuitenkaan saa yleensä olla suurempi kuin 30 Pa.

Ulkoilmaan nähden ylipaineisiksi voidaan kuitenkin suunnitella erikoistiloja, kuten puhdashuonetiloja, ja sellaisia tiloja, joissa toiminnasta johtuen ulko-ovia tai muita aukkoja pidetään usein auki.

3.7.6.2 Jos tilassa syntyy runsaasti epäpuhtauksia tai kosteutta, suunnitellaan se alipaineiseksi muihin tiloihin nähden.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta määräys 6§ ohjeistaa ilmanvaihtoa:

Sisäilman kosteuden on pysyttävä tilojen suunnitellun käyttötarkoituksen mukaisissa arvoissa sisäilman kosteudesta aiheutuvia kosteusvaurioita, mikrobien kasvua tai terveydellistä haittaa välttämällä.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta määräys 21§ ohjeistaa ilmanvaihtoa:

Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen ulko- ja ulospuhallusilmavirrat siten, ettei rakenteisiin aiheudu ylipaineen vuoksi rakenteita vaurioittavaa pitkäaikaista kosteusrasitusta eikä alipaineen vuoksi epäpuhtauksien siirtymistä sisäilmaan. Pääsuunnittelijan, erityissuunnittelijan ja rakennussuunnittelijan on tehtävänsä mukaisesti suunniteltava rakennuksen vaipan ja sisä rakenteiden ilmanpitävyys ja hormivaikutuksen hallinta siten, että edellytykset ilmanvaihdon toiminnalle voidaan varmistaa ja vältetään rakenteissa olevien epäpuhtauksien, maaperässä

olevien epäpuhtauksien ja radonin siirtymistä sisäilmaan ja vältetään kosteuden siirtymistä rakenteisiin.

2.5 Kosteusvaikutusten taloudellinen merkitys

Suomen rakennuskanta on merkittävä osa kansallisuusvarallisuutta, joka koostui vuonna 2010 1,45 miljoonasta rakennuksesta. Vuonna 2010 koko kansallisuusvarallisuus oli 775 miljardia euroa, josta 217 miljardia oli asuinrakennukset ja 132 miljardia euroa muut rakennukset. Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2010 käytettiin korjausrakentamiseen 9,57 miljardia euroa. Asuinrakennusten osuus oli 6,35 miljardia ja muiden rakennusten 3,22 miljardia. 1,2–1,6 miljardia euroa käytettiin merkittävien kosteusvaurioiden korjaamiseen. Arviolta 6–9 %:ssa suomalaisissa asuinrakennuksissa on home- tai kosteusvaurio ja 7–13 %:ssa pien- ja rivitaloissa. (Reijula ym. 2012: 123.)

Taulukko 4. Vuoden 2010 korjauskustannusvertailu (Reijula ym. 2010: 125).

	Korjauskustannukset vuona 2010 tutkimuslaitoksittain					
	VTT		TTL:n laskelmat		Tilastokeskus	
<i>Rakennuksen käyttötarkoitus</i>	Milj. €	%	Milj. €	%	Milj. €	%
<i>Kaikki rakennukset</i>	9 500	100	9 551	100	9 565	100
<i>Asuinrakennukset</i>	4 900	51	5 466	57	6 347	66
<i>Omakotitalot</i>	1 800	19	2 036	21		
<i>Rivitalot</i>	700	7	850	9		
<i>Kerrostalot</i>	2 400	25	2 580	27		
<i>Muut kuin asuinrakennukset</i>	4 600	49	4 085	43	3 218	34
<i>Liike- ja toimistorakennukset</i>	1 100	12	1 036	11		
<i>Julkiset rakennukset</i>	1 800	19	1 830	19		
<i>Teollisuus- ja varastorakennukset</i>	1 100	12	1 200	13		
<i>Talous- ja maatalousrakennukset</i>	600	6	19	0		

Vaurioituneen rakenteen korjaaminen alkaa usein vasta sitten, kun se aiheuttaa oireilua tai on aistinvaraisesti muuten havaittavissa. Tällöin vaurio on kerennyt jo leviämään, ja korjattaessa joudutaan selvittämään, miten pitkälle vaurio on levinnyt. Joudutaan myös purkamaan enemmän rakenteita kuin, että vaurio havaittaisiin heti ja korjattaisiin välittömästi. Jos korjaustöissä viivästellään, leviää ja pahenee vaurio entisestään. On myös todettu, että tämä kaksin- tai jopa kolminkertaistaa korjauskustannukset. Hometalkoot on tehnyt tästä tutkimuksen ja taulukossa 5 on esitetty kyseinen kustannusvertailu. Vertailu on tehty esimerkkirakennukselle: kaksikerroksiselle 5 000-neliöiselle rakennukselle. (Korjaa ajoissa ja säästä 2016: 2–17.)

Taulukko 5. Esimerkkirakennuksen kustannusvertailu. Yläpuolella hinta, jos korjataan ennen vaurioita ja ala puolella vaurioitumisen jälkeen. (Korjaa ajoissa ja säästä 2016: 16).

Rakenne	Hankinnat ja palvelut €	Materiaalit €	Työ €	Yhteensä €	Säästö %
Ulkopuolelta eristetty kellariseinä	17 841	32 320	53 693	103 854	25%
	37 316	32 308	68 502	138 126	
Sisäpuolelta eristetty kellariseinä	16 812	26 418	59 970	103 199	13%
	17 763	28 355	73 060	119 177	
Puurunko ja valesokkeli	11 414	25 800	38 020	75 234	33%
	11 414	33 748	67 302	112 464	
Maanvastainen puukorokelattia	32 063	31 915	56 996	120 364	83%
	199 813	235 500	270 618	705 930	
Maanvastainen kaksoislaattalattia	32 063	33 676	58 626	124 364	73%
	37 313	188 489	230 652	456 454	
Tiili-villa-tiili ulkoseinä	0	15 385	82 209	97 593	56%
	0	46 419	175 746	222 165	
Ikkuna- ja oviliitokset	4 500	2 640	6 690	13 830	70%
	18 000	8 969	18 701	45 670	
Elementtisaumat	0	19 618	6 613	26 232	49%
	18 846	20 205	11 936	50 987	
Tasakatto, kermikate	6 036	87 887	44 044	137 967	53%
	26 036	182 279	82 163	290 479	
Harjakatto, peltikate	0	100 180	87 292	187 473	45%
	0	179 366	161 874	341 240	
Märkätilat	0	16 422	25 029	41 451	45%
	5 220	26 332	43 213	74 764	

Taulukosta 5 nähdään, että keskimäärin säästetään 50 %, jos korjaustyö tehtäisiin ennen rakenteen vaurioitumista.

3 Tilastollinen kosteusanalyysi

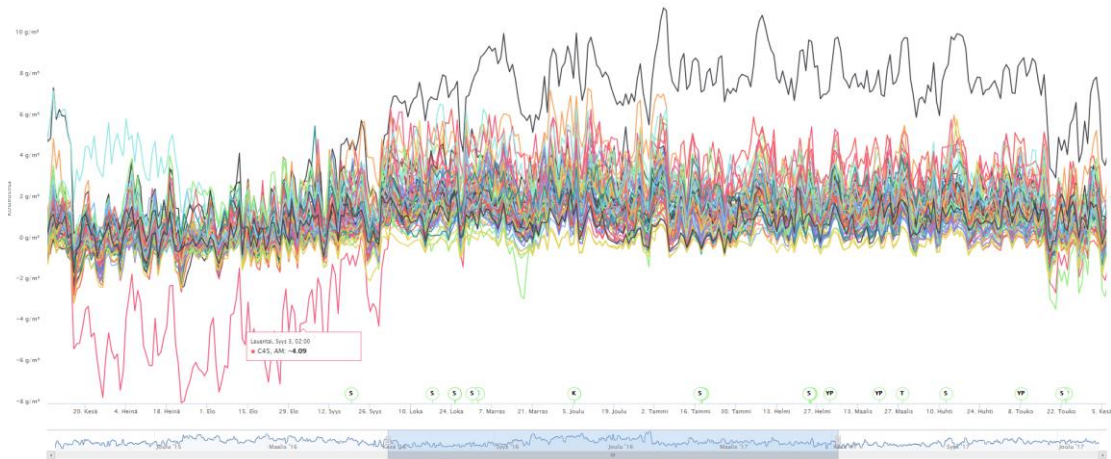
Aloitin työn tarkastelemalla kosteusdataa, jota Leanheat on kerännyt. Dataa kerätään asuinhuoneisiin asennetuilla antureilla. Anturit mittaavat lämpötilaa ja laskevat suhteellisen kosteuden ja kosteuslisän. Kuvassa 12 on huoneistoihin asennettavat anturit. Niin

kuin kuvasta voidaan nähdä, kaikissa malleissa ei ole näyttöä. Näytöltä nähdään lämpötila ja suhteellinen kosteus. Leanheat ei valmista antureita itse, vaan käyttää useiden eri valmistajien laitteistoja.



Kuva 12. Esimerkkejä huoneantureista

Data on muunnettu valmiiksi luettavaan muotoon: lämpötilat celsiusasteiksi, suhteellinen kosteus prosenteiksi ja kosteuslisä grammaa kuutiossa. Myös sääasemista kerätään ulkotilan suhteellinen kosteus- ja lämpötiladataa. Dataa on melkein tuhannesta eri kohteesta, minkä vuoksi rajasimme kohteita hallussa olevien tietojen perusteella. Rajaukset teimme yhdessä toimeksiantajan kanssa. Määritimme tarkasteluajaväliksi vuoden 31.05.2016–31.05.2017. Tämä edellytti, että kohteessa on ollut tällä aikavälillä anturit asennettuna ja toiminnassa. Toisena rajoittavana tekijänä pidimme ilmanvaihtotavan tietämistä. Oletuksena on, että ilmanvaihto vaikuttaa kosteusolosuhteisiin ja tämän vuoksi pidämme tämän tuntemusta tärkeänä. Ilmanvaihdesta tiedetään vain se, onko kohteessa painovoimainen, koneellinen poisto vai koneellinen tulo- ja poisto. Kolmantena rajoittava tekijänä on rakennusvuoden tietäminen. Rakennusvuoden oletetaan myös vaikuttavan kosteusolosuhteisiin. Ilmanvaihtotavan ja rakennusvuoden tietämisellä tarkoitetaan, että kun kohde on tullut Leanheatin järjestelmään, on kohteesta saatu tieto rakennusvuodesta ja ilmanvaihdesta.



Kuva 13. Kuvassa esitetty yhden kohteen kosteuslisä data, jossa pystyakselissa on kosteuslisä g/m^3 ja vaaka-akselilla on esitetty aikaa. Jokainen väri on oma asuntonsa ja jokaisesta asunnosta on arvo tunnin välein vuoden ajalta.

Kuvasta 13 nähdään yhden kohteen kaikkien asuntojen kosteuslisät. Data, jota tarkastellaan, on tunnin välein mitattua. Data ei ollut heti käyttövalmista, koska anturit eivät lähetä dataa koko ajan 100-prosenttisesti, vaan katkoksia tulee välillä. Tämän vuoksi datassa oli tyhjiä arvoja, ja tähän piti heti aluksi keksiä ratkaisu. Ratkaisut tehtiin yhdessä opinnäytetyön toimeksiantajan kanssa. Arvot olisi voitu jättää tyhjiksi, koska todellista arvoa emme voi tietää. Päätimme kuitenkin tehdä lineaarisen interpolaation, jolla saimme kaikille ajoille jonkin kosteusarvon. Interpolaation teki Leanheatin Lead Data Scientist Jaakko Luttinen. Lineaarisessa interpolaatiossa katsotaan viimeisin ja seuraava arvo ja näiden avulla lasketaan keskiarvo. Esimerkiksi viimeisin saatu arvo on kello 05:00 0,89 g/kg ja seuraava arvo on kello 09:00 1,04 g/kg. Lasketaan kello 6:lle, 7:lle ja 8:lle arvot. Kuvassa 14 on huoneiston B22 arvot.

DateTime	B22, AM	B17, AM	A2, AM	B31, AM
5/29/2016 2:00	-0.17	-0.27	0.36	2.81
5/30/2016 23:00	-0.43	-0.01	0.25	1.54
5/31/2016 0:00	-0.54	-0.29	-0.1	1.2
5/31/2016 1:00				
5/31/2016 2:00	0.42			
5/31/2016 3:00		0.44	1.07	2.17
5/31/2016 4:00				
5/31/2016 5:00	0.89		1.55	2.35
5/31/2016 6:00				
5/31/2016 7:00		-0.2		
5/31/2016 8:00				
5/31/2016 9:00	1.04	0.22	1.91	2.65

DateTime	B22, AM	B17, AM	A2, AM	B31, AM
29/05/2016 02:00	-0.17	-0.27	0.36	2.81
30/05/2016 23:00	-0.43	-0.01	0.25	1.54
31/05/2016 00:00	-0.54	-0.29	-0.1	1.2
31/05/2016 01:00	-0.06	-0.04667	0.29	1.523333
31/05/2016 02:00	0.42	0.196667	0.68	1.846667
31/05/2016 03:00	0.576667	0.44	1.07	2.17
31/05/2016 04:00	0.733333	0.28	1.31	2.26
31/05/2016 05:00	0.89	0.12	1.55	2.35
31/05/2016 06:00	0.9275	-0.04	1.64	2.425
31/05/2016 07:00	0.965	-0.2	1.73	2.5
31/05/2016 08:00	1.0025	0.01	1.82	2.575
31/05/2016 09:00	1.04	0.22	1.91	2.65

Kuva 14. Kuvassa vasemmalla on yhden kohteen raakadata, jolle ei ole tehty mitään ja oikealla saman kohteen lineaarisesti interpoloitu versio, jossa kaikille ajoille on myös kosteusarvo.

Kuvasta 14 nähdään sama kohde ennen ja jälkeen lineaarisen interpolaation. Järjestelmä ei myöskään ottanut jokaista tuntia huomioon, vaan saattoi jättää jonkun tunnin datan kokonaan huomioimatta. Tämän vuoksi tehtiin lineaarinen interpolaatio uudestaan ja lisättiin puuttuvat tunnit. Tämän jälkeen datasta saatiin kosteuslisä ja suhteellinen kosteus jokaisesta rakennuksesta ja asunnosta tunnin välein vuoden ajalta. Kokosin näistä tiedoista keskiarvot kosteuslisästä ja suhteellisesta kosteudesta koko vuoden ajalta. Myös kesä- ja talviajalta on keskiarvot erikseen.

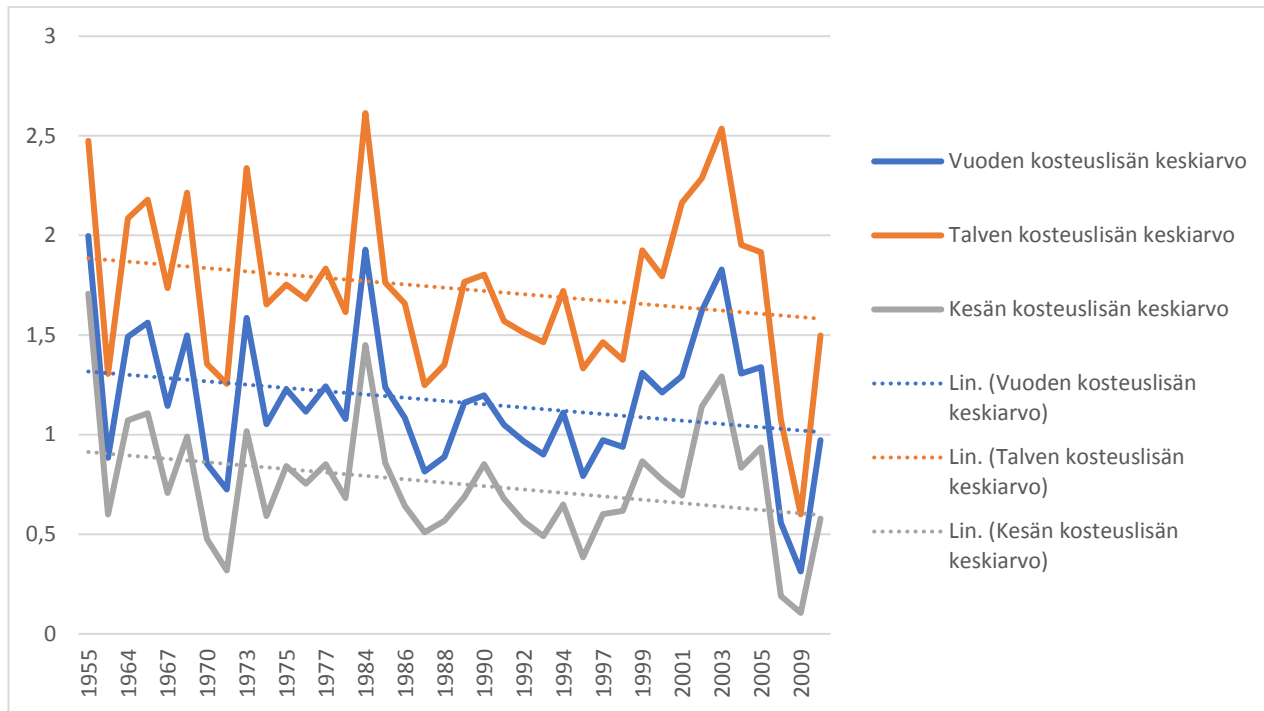
3.1 Kohteiden esittely

Kohteita on 14:sta eri kaupungista, yhteensä 87 kohdetta: Espoosta 30, Helsingistä 5, Hyvinkäältä 2, Jokelasta 1, Keravalta 2, Kirkkonummelta 1, Kotkasta 21, Kuopiosta 3, Lohjalta 1, Nokialta 1, Nummelasta 2, Riihijärveltä 1, Tampereelta 4 ja Vantaalta 12. Kohteet on rakennettu vuosina 1955–2012, ja kohteissa on painovoimainen ilmanvaihto, koneellinen poisto ja hajautettu sekä keskitetty tulo- ja poistoilmanvaihto. Kaikille kohteille tehtiin samat toimenpiteet, jotta jokaisesta kohteesta ja jokaisesta asunnosta olisi arvo vuoden jokaiselta tunnilta.

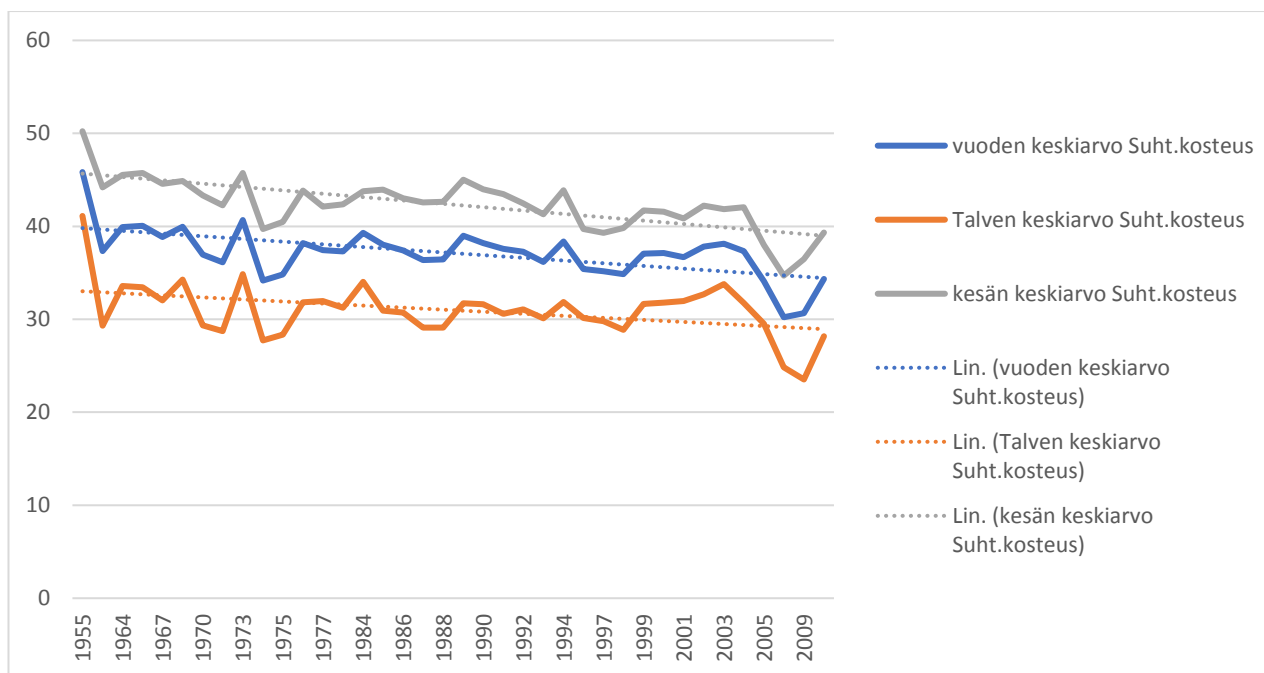
3.2 Tuloksia

Kokosin kohteet Exceliin, jossa on esitetty kohteiden osoite, kunta, sijainti, rakennusvuosi, ilmanvaihto, kosteuslisän keskiarvo vuodelta, kosteuslisän keskiarvo kesältä, kosteuslisän keskiarvo talvelta, suhteellisen kosteuden keskiarvo koko vuodelta, talvelta ja kesältä, sekä tieto siitä, onko kohde rannikolla vai sisämaassa. Arvoja vertasin rakennusvuoden, kaupungin ja ilmanvaihtotavan suhteen.

Aluksi tarkastelin rakennusvuoden merkitystä. Kuvissa 15 ja 16 on esitetty rakennusvuoden vaikutus kosteuslisään ja suhteelliseen kosteuteen.



Kuva 15. Kuvassa kosteuslisä pystyakselilla ja rakennusvuosi vaaka-akselilla.

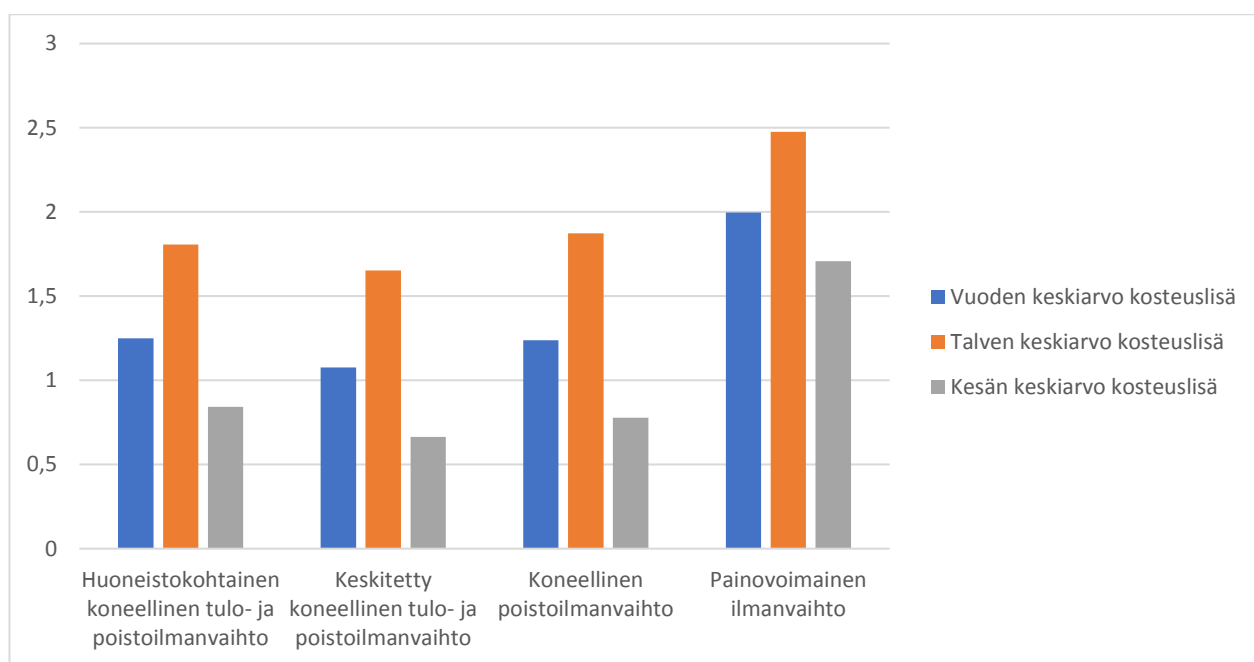


Kuva 16. Kuvassa suhteellinen kosteus pystyakselilla ja rakennusvuosi vaaka-akselilla.

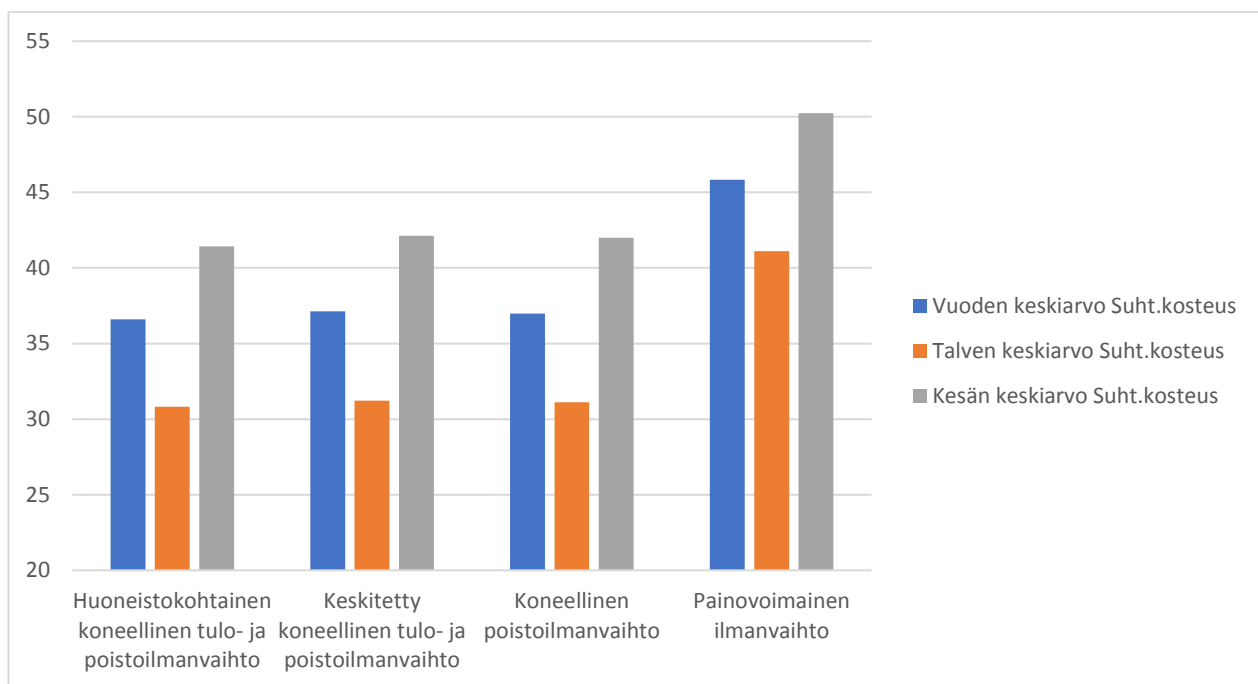
Kuvista 15 ja 16 voidaan todeta, että rakennusvuodella on merkitystä, kun tutkitaan asunnoissa olevaa kosteutta. Kosteuslisä sekä suhteellinen kosteus on pienentynyt uu-

demmissä kohteissa. Kuvista voidaan myös todeta, että vuodenaika vaikuttaa kosteuteen ja sen syntyyn. Kesällä suhteellinen kosteus on suurempi kuin talvella, ja talvella kosteuslisä on suurempi kuin kesällä. Kesällä kosteutta tulee siis todennäköisesti ulkoa, kun kosteutta on enemmän ilmassa kuin talvella. Talvella kosteus tulee sisällä, todennäköisesti ihmisen toimesta, kuten ruuanlaitosta, pyykinkuivaamisesta ja muusta toiminnasta, kun ulkona ei ole kosteutta yhtä paljon kuin kesällä. Suhteelliset kosteudet ovat kuitenkin kaikissa kohteissa vielä hyvällä tasolla, eikä huolestuttavan suuria tai pieniä arvoja ole keskiarvovertailussa. Jos suhteellinen kosteus laskee vielä talvella, tulee ilmasta liian kuivaa ja se voi aiheuttaa oireilua. Kosteuden vähenemisen syytä uusimmissa asunnoissa ei voida datan avulla analysoida.

Seuraavaksi vertailin eri ilmanvaihtotapoja. Oletuksena oli, että ilmanvaihto vaikuttaisi kosteusolosuhteisiin. Koneellisessa ilmanvaihdossa saadaan kosteuskuormat poistettua tehokkaasti, jos ilmanvaihto on toimiva, oikein suunniteltu, toteutettu ja huollettu.



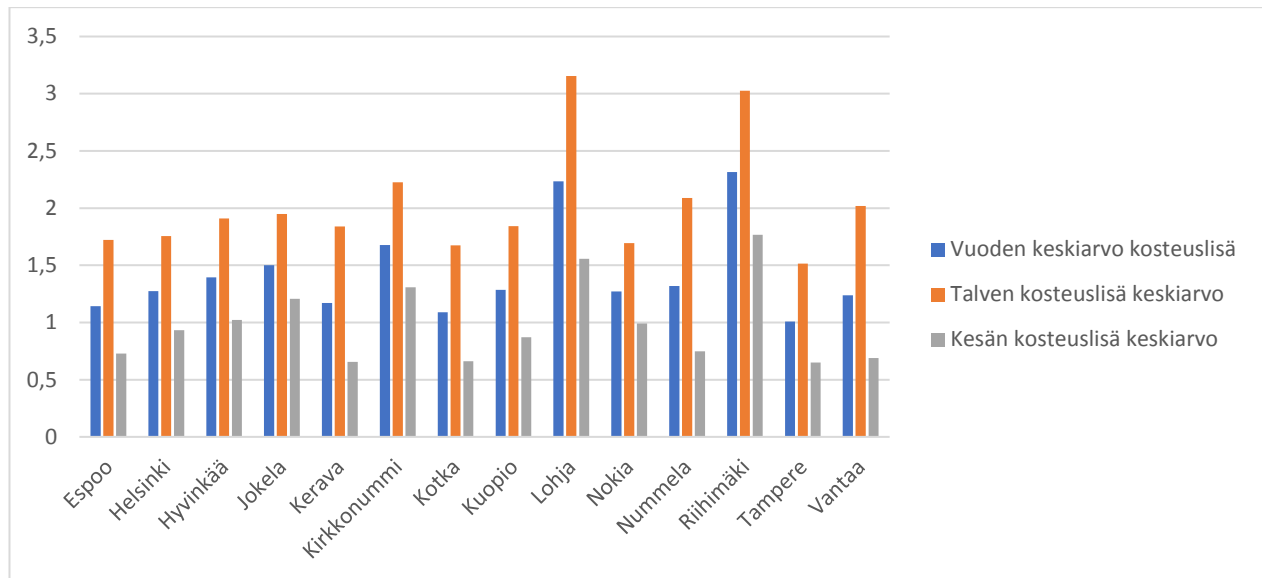
Kuva 17. Kuvassa vaaka-akselilla eri ilmanvaihtotapoja ja pystyakselilla kosteuslisä.



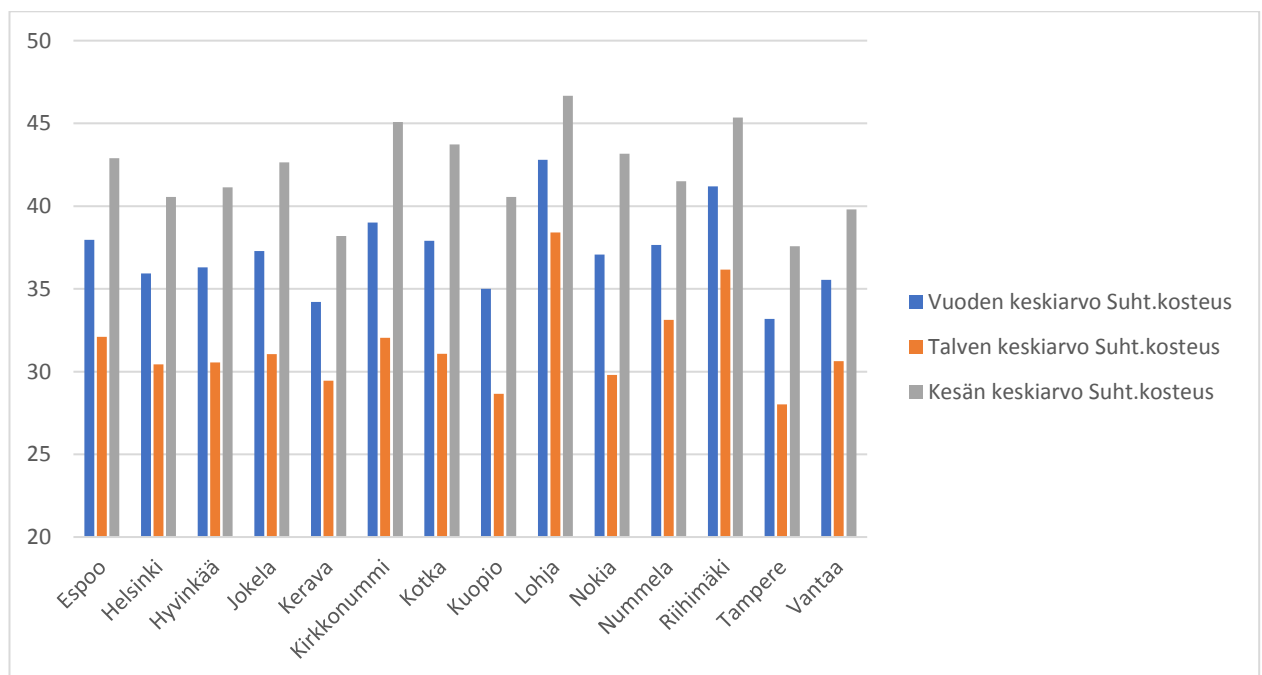
Kuva 18. Kuvassa vaak-akselilla eri ilmanvaihto tapoja ja pystyakselilla suhteellinen kosteus.

Ilmanvaihtotapojen vertailussa kuvissa 17 ja 18 ainoa ilmanvaihtotapa, joka erottui muista, on painovoimainen ilmanvaihto. Suhteellinen kosteus on melkein 10 % suurempi kaikissa painovoimaisissa ilmanvaihdossa kuin muissa ilmanvaihtotavan kohteissa. Kuvista nähdään, että koneellinen poisto toimii kosteuden poistajana. Varsinkin kesällä painovoimaisessa ilmanvaihdossa on melkein 20 % suurempi suhteellinen kosteus kuin muissa kohteissa.

Seuraavaksi vertasin tarkastelussa olevia kohteita sijainnin mukaan.



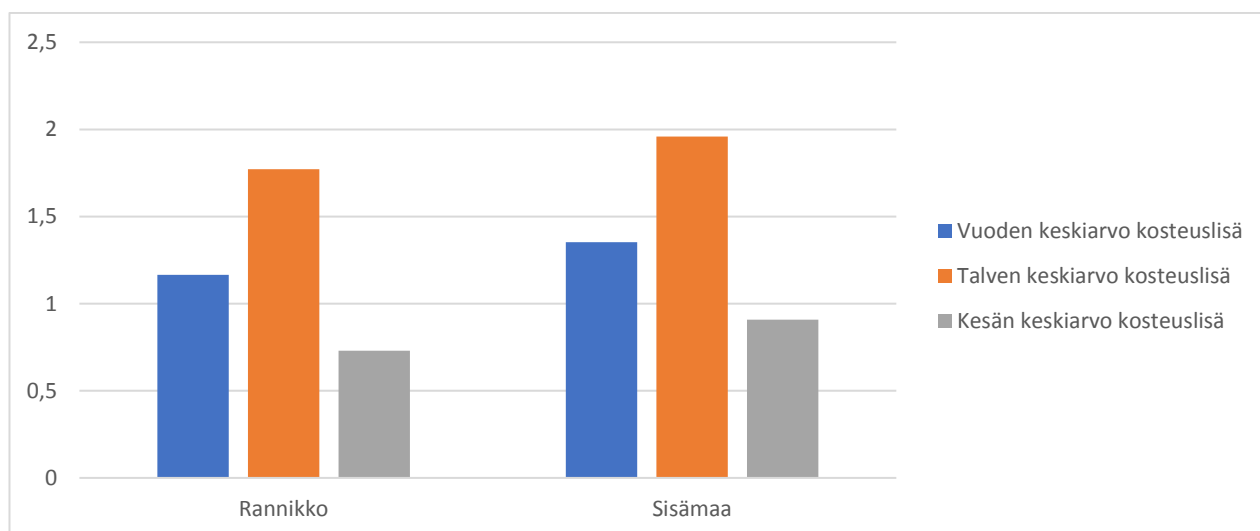
Kuva 19. Kuvassa vaaka-akselilla erikaupunkeja ja pystyakselilla kosteuslisä



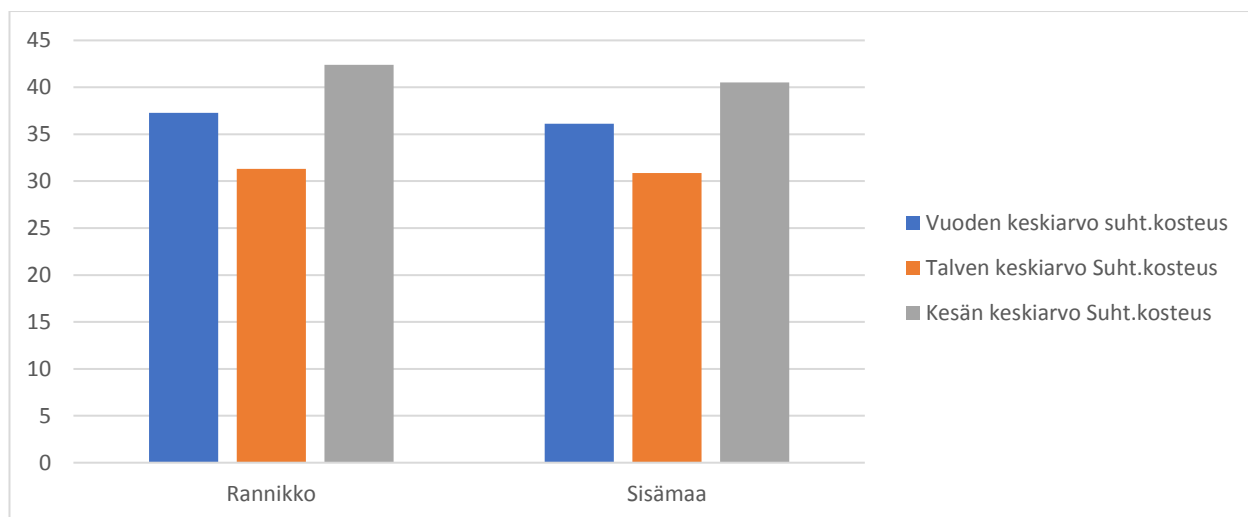
Kuva 20. Kuvassa vaaka-akselilla erikaupunkeja ja pystyakselilla suhteellinen kosteus.

Kuvissa 19 ja 20 kaupunkien välillä ei ole suuria eroja, ja erot tulevat jo todetusta rakennusvuoden vaikutuksesta ja kohteiden määrän vaihtelusta kaupungeittain. Suurimmat kosteusarvot ovat kaupungeissa, joissa on vain yksi kohde.

Vertailua tein myös rannikolla ja sisämaassa olevien kohteiden välillä. Sisämaaksi tulkittiin, jos kaupunki on 20 km rannikolta. Sisämaan kaupunkeja olivat siis Hyvinkää, Kerava, Kuopio, Lohja, Nokia, Tampere, Nummela ja Riihimäki.



Kuva 21. Kuvassa on esitetty rannikolla ja sisämaassa olevien rakennusten kosteuslisäeroa.



Kuva 22. Kuvassa on esitetty rannikolla ja sisämaassa olevien rakennusten suhteellisen kosteuden eroa.

Kuvista 21 ja 22 nähdään, ettei rannikolla tai sisämaassa olevien rakennusten välillä ole merkittäviä eroja. Tietenkin tähän vaikuttaa olennaisesti sää. Jos koko maassa on ollut tarkasteltavana vuotena suurin piirtein yhtä lämmintä, voidaan myös vesihöyryn määrää ilmassa pitää suurin piirtein samana.

3.3 Ulko-olosuhteiden tarkastelu

Koska Suomessa sää vaihtelee vuodenaikojen mukaan, vaihtelee myös sisällä olevan kosteuden määrä. Kesällä, kun on lämmintä ja suhteellinen kosteus on suurta, ei sisällä päästä alle 60 %:n suhteellisen kosteuden. Talvella, kun on kylmää, ei sisällä päästä yli 20 %:n suhteelliseen kosteuteen. Tietämällä ulkolämpötila, ulkona olevan suhteellinen kosteus, sisälämpötila ja kosteuskuorma voidaan laskea sisätilan suhteellinen kosteus. Leanheatillä on kaikki nämä tiedot, joten suhteellinen kosteus voidaan laskea. Suhteellinen kosteus on laskettu kohteen keskivertokosteuslisällä ja keskivertosisälämpötilalla. Sisätilan suhteellinen kosteus lasketaan yhtälöillä 8, 9 ja 13.

$$A_{max} = 4.85 + 3.47 \left(\frac{t}{10}\right) + 0.945 \left(\frac{t}{10}\right)^2 + 0.158 \left(\frac{t}{10}\right)^3 + 0.0281 \left(\frac{t}{10}\right)^4$$

Yhtälöllä 8 saadaan selville, kuinka paljon ulkoilmassa voi korkeintaan olla kosteutta ja kun tulokset kertoo suhteellisella kosteudella (yhtälö 9), niin saadaan ulkoilman kosteus. Sisäilman maksimi kosteus saadaan yhtälöllä 8. Kun tiedämme kosteuslisän ja lisäämme sen ulkoilmankosteuteen ja jaetaan sisäilman maksimikosteudella. Tästä tulee sisäilman suhteellinen kosteus (yhtälö 13).

$$A_u = A_{max} \times \varphi_u$$

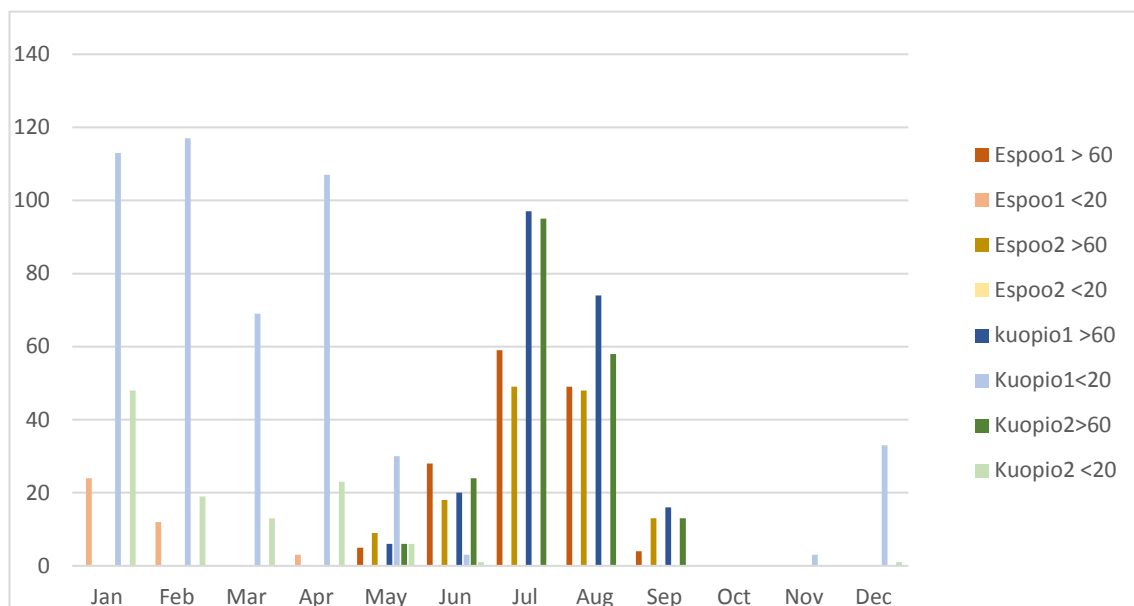
$$\varphi_s = \frac{A_u + g_h}{A_{max s}} \quad (13)$$

A on vesihöyryn määrä ilmassa

φ on suhteellinen kosteus

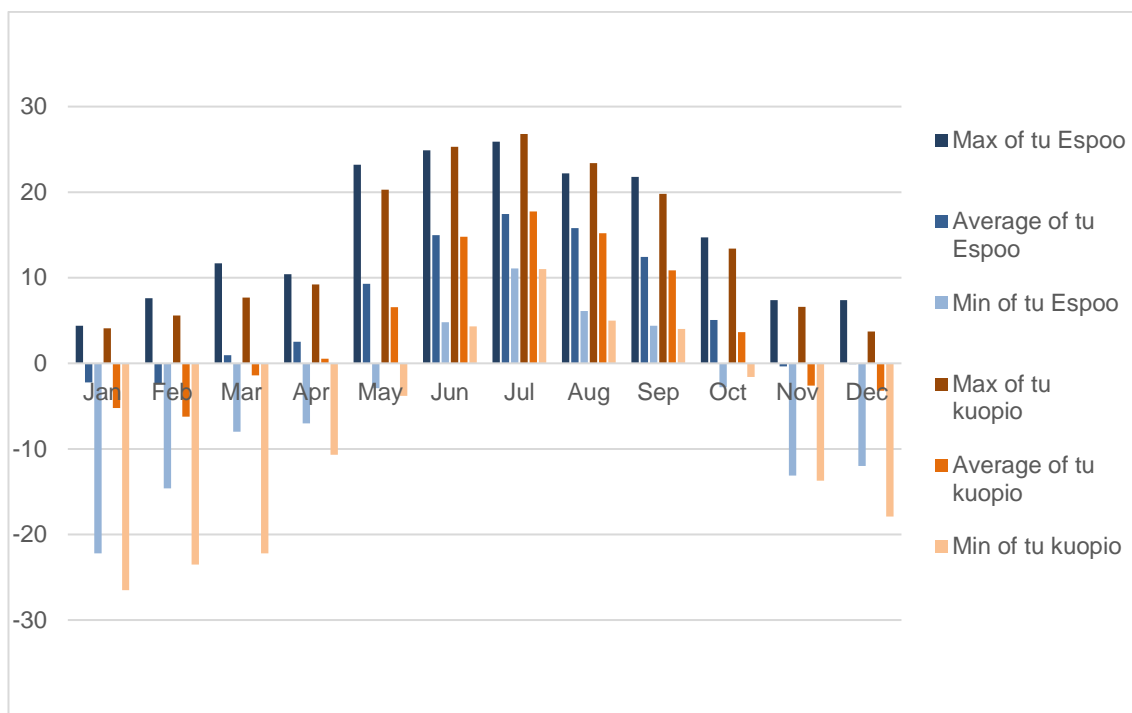
g_h on kosteuskuorma

Yllä olevan laskennan avulla näemme, kuinka monena tuntina tietyssä kohteessa ei päästä sisällä 20–60 %:n suhteelliseen kosteuteen ilman kuivausta tai kostutusta. Oteetaan tarkasteluun neljä kohdetta: kaksi Espoosta ja kaksi Kuopiosta, jotta näkisimme eroavaisuuksia sijainnin suhteen.

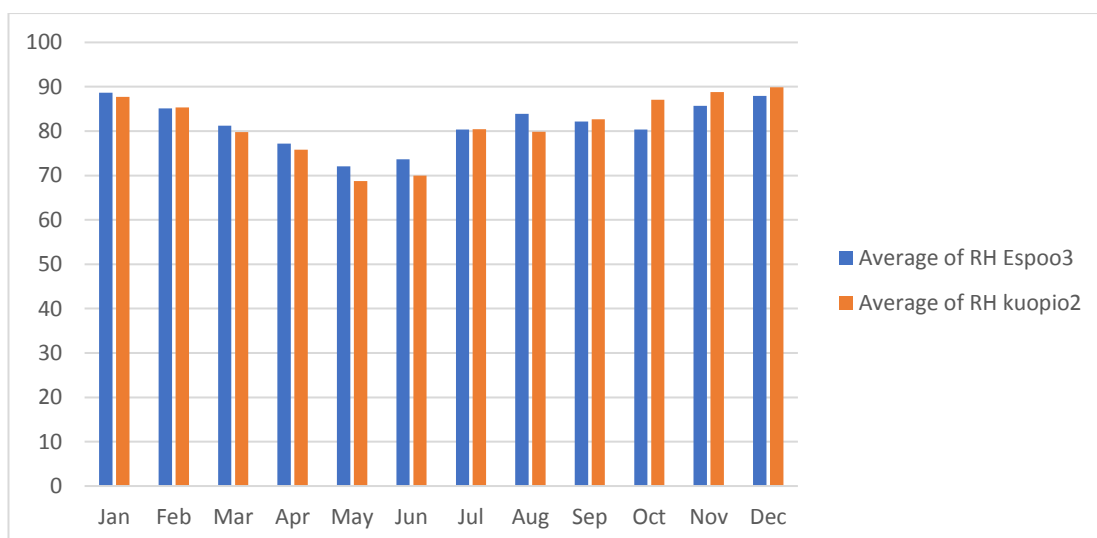


Kuva 23. Esitetty tuntimäärät, jolloin ei päästä sisällä 20–60 %:n suhteelliseen kosteuteen neljästä eri kohteesta kuukausittain.

Kuvasta 23 nähdään talvikuukausien kuivan ulkoilman vaikutus pohjoisessa, kun Kuopiossa olevissa kohteissa ei päästä yli 20 %:n suhteelliseen kosteuteen. Yllättävää on se, että Kuopiossa on myös ollut enemmän tunteja, jolloin on ollut paljon kosteutta ilmassa eikä alle 60 %:n suhteelliseen kosteuteen päästy.



Kuva 24. Ulkolämpötilat Kuopiossa ja Espoossa.



Kuva 25. Suhteellinen kosteus ulkona Kuopiossa ja Espoossa.

Kuvasta 24 nähdään korkeimmat, alhaisimmat ja keskiarvolämpötilat Espoossa ja Kuopiossa. Kuopiossa on ollut kovemmat pakkaset ja helteet, kuin Espoossa. Eli Kuopiossa on ollut lämpimämpi tunti kuin Espoossa. Kuopiossa on myös ollut kylmempi kuin Espoossa. Kun taas verrataan kuvassa 25 suhteellista kosteutta, huomataan, ettei se vaihtelee merkittävästi kaupunkien välillä. Koska Kuopiossa on ollut Espoota lämpimämpää hetkittäin, on myös siellä ollut useammin ulko-olosuhteet sellaiset, ettei päästä alle

60 % :n suhteelliseen kosteuteen. Sama pätee myös talven kylmiin päiviin, joita on ollut Kuopiossa enemmän ja niin on myös ollut olosuhteita, ettei yli 20 %:n suhteelliseen kosteuteen päästä.

Kuvasta 23 nähdään, että kohteiden välillä on isoja eroja. Samassa kaupungissa olevien kohteiden eroina on rakennusvuosi. Espoon ensimmäinen kohde on toista kohdetta 20 vuotta vanhempi, ja Kuopiossa toinen kohde on 20 vuotta toista kohdetta vanhempi. Huomataan myös, että Kuopion uudemmassa kohteessa on ollut paljon enemmän tunteja, jolloin kosteus jää alle 20 %. Espoossa taas pelkästään vanhemmassa kohteessa on hetkiä, kun kosteus jää alle 20 %. Kesällä saman kaupungin kohteilla ei ole suurta eroavaisuutta hetkinä, jolloin kosteus nousee yli 60 %.

3.4 Ratkaisuja sisäilmankosteuden hallintaan

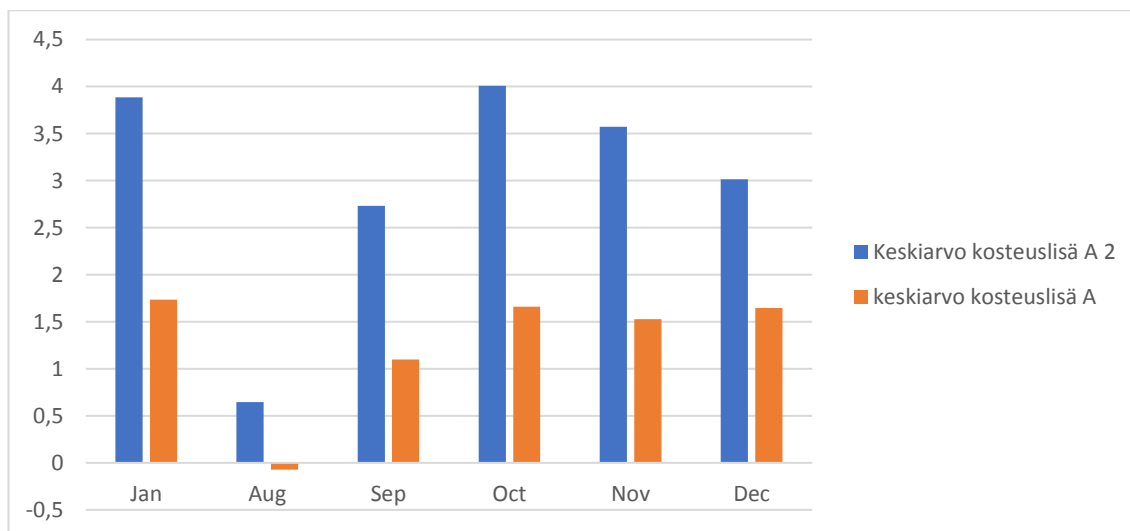
Tarkastellessa milloin ulko-olosuhteet aiheuttavat huonon sisäilman kosteuden, huomattiin, että talvella on enemmän tunteja, kun ei päästä yli 20 %:n suhteellisen kosteuden, kun kesällä on tunteja, ettei päästä alle 60 %:n suhteellisen kosteuden. Talven kuiviin hetkiin voitaisiin ottaa asunoissa seurantaan hiilidioksidipitoisuus, suhteellinen kosteus ja ilmanpaine. Näiden avulla voitaisiin ilmanvaihtoa jatkuvasti säätää tarvittavaa ilmamäärää vastaavaksi. Näin pystyttäisiin pitämään mahdollisimman hyvät olosuhteet asunnossa. Hiilidioksidipitoisuus pyritäisiin pitämään alle 1 200 ppm, suhteellinen kosteus 20–60 %:n välissä ja asunto pidettäisiin alipaineisena ulkoilmaan nähden, jolloin kosteus ei siirtyisi rakenteisiin. Näin voitaisiin talvella pienentää ilmanvaihtoa hetkillä, milloin suhteellinen kosteus laskee alle 20 %:n ja hiilidioksidikuorma ei nostaisi tasoa yli 1 200 ppm. Tämä säästäisi energiaa, kun ilmanvaihtokone ei olisi niin suurella teholla ja asunnon lämmityksen ei tarvitsisi lämmittää ilmanvaihdosta tulevaa ilmaa, joka on koneellisessa tulossa pari astetta huonelämpötilaa kylmempää ja koneellisessa poistossa ulkoilman lämpöistä.

Kesällä, jos suhteellinen kosteus nousee yli 60 %:n ja lämpötila on sama kuin asunnossa, on ilman minkäänlaista ilmankuivausta mahdotonta päästä alle 60 %:n suhteelliseen kosteuteen. Kohteissa, missä on keskitetty koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, saataisiin jäähdytyspatterilla paremmat kosteus- ja lämpöolosuhteet. Jäähdytyspatterilla saataisiin lämpötila ja suhteellinen kosteus pysymään hyvänä kesän kuumina päivinä.

4 Yksittäisten kohteiden tarkastelu

Yksittäisiä kohteita haluttiin ottaa mukaan tarkasteltavaksi, jotta saataisiin konkreettisia kokemuksia asunnoista, joissa mittausten mukaan olisi huomattavasti kosteampi ilma, kuin muissa saman talon asunnoissa. Mittaustulokset on saatu kohteista, joissa on Lean-heatin älykäs lämmönohjaus ja sen vuoksi anturit asunnoissa. Kaikki tarkastelut tehtiin Espoon Asuntojen kohteisiin. Tarkastelut tehtiin kahtena päivänä 5.2. ja 13.2.2018. Tarkastelu kierroksella oli mukana Espoon Asunnot Oy:n rakennusautomaatioasiantuntija Iiro Hassinen. Jokaisesta tarkasteltavasta kohteesta on tehty kuvaaja, josta näkee selvästi, kuinka paljon kosteampi ilma asunnossa on keskiarvoon verrattuna. Kohteissa mitasimme ilmamäärät, suhteellisen kosteuden ja lämpötilan sekä tarkastimme asunnon silmä määräisesti. Kohteiden oikeita osoitteita tai asuntojen numeroita ei opinnäytetyössä esitetä, vaan kohteista puhutaan kirjaimina A–I ja kohteen tarkasteltuja asuntoja 1–3 riippuen tarkasteltujen asuntojen määrästä.

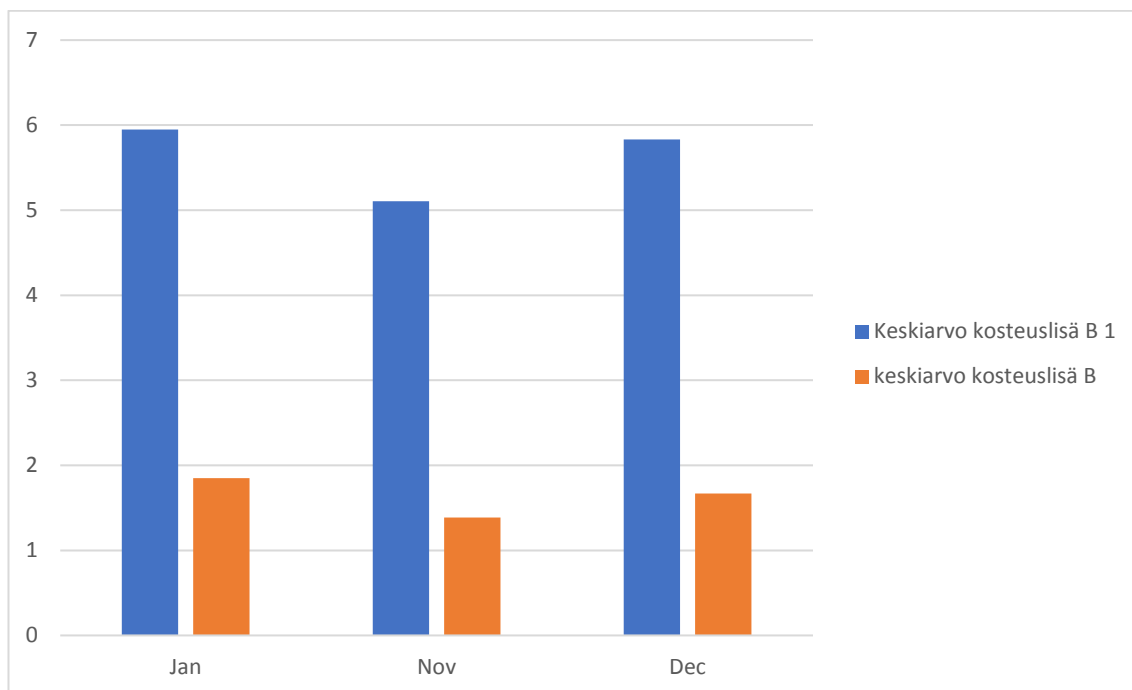
4.1 Yksittäisten kohteiden esittely



Kuva 26. Verrattu kohteessa A keskiverron ja tarkastellun asunnon kosteuslisää

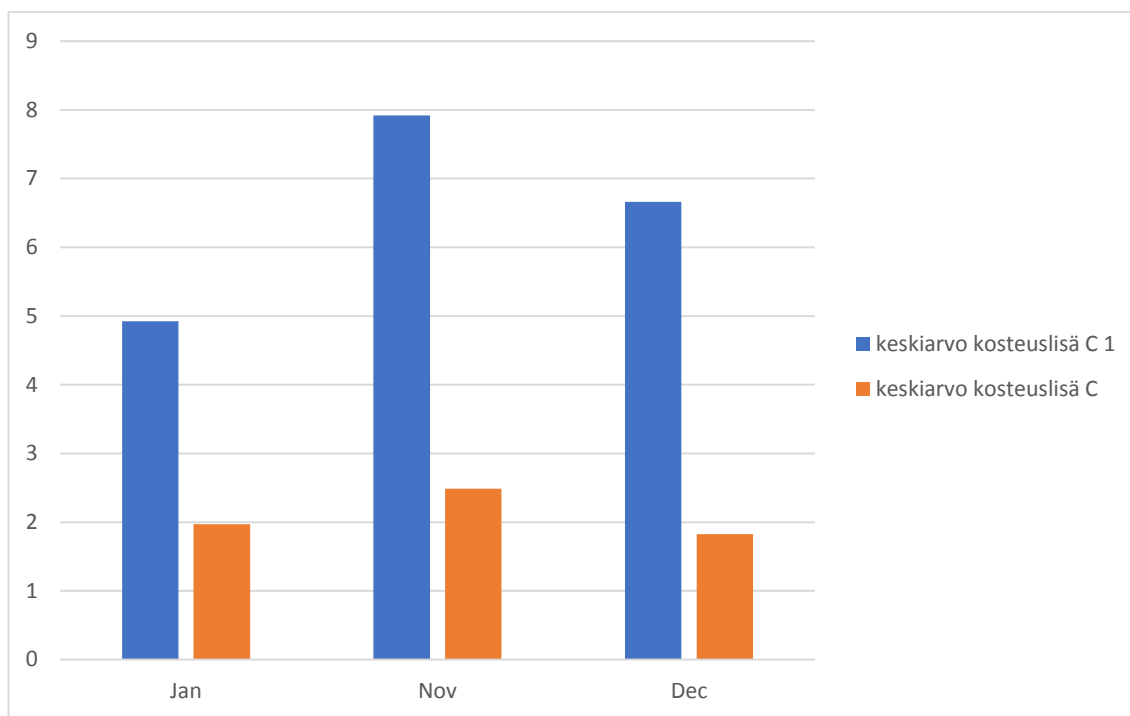
Kohde A on 1980-luvulla valmistunut rivitalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvasta 26 (kohde A) nähdään, että asunnossa 2 on selvästi kosteampaa kuin muualla. Kohteessa todettiin, ettei ilmanvaihto toimi suunnitellulla tavalla. Ilmanvaihtoventtiilit olivat kiinni, ja ilma ei poistunut wc-tilasta eikä kylpyhuoneesta. Toimenpiteenä avattiin venttiilejä, jotta

ilmanvaihto toimisi. Ilmanvaihdon toimimattomuus on ollut syynä kosteuden kasvami-
seen.



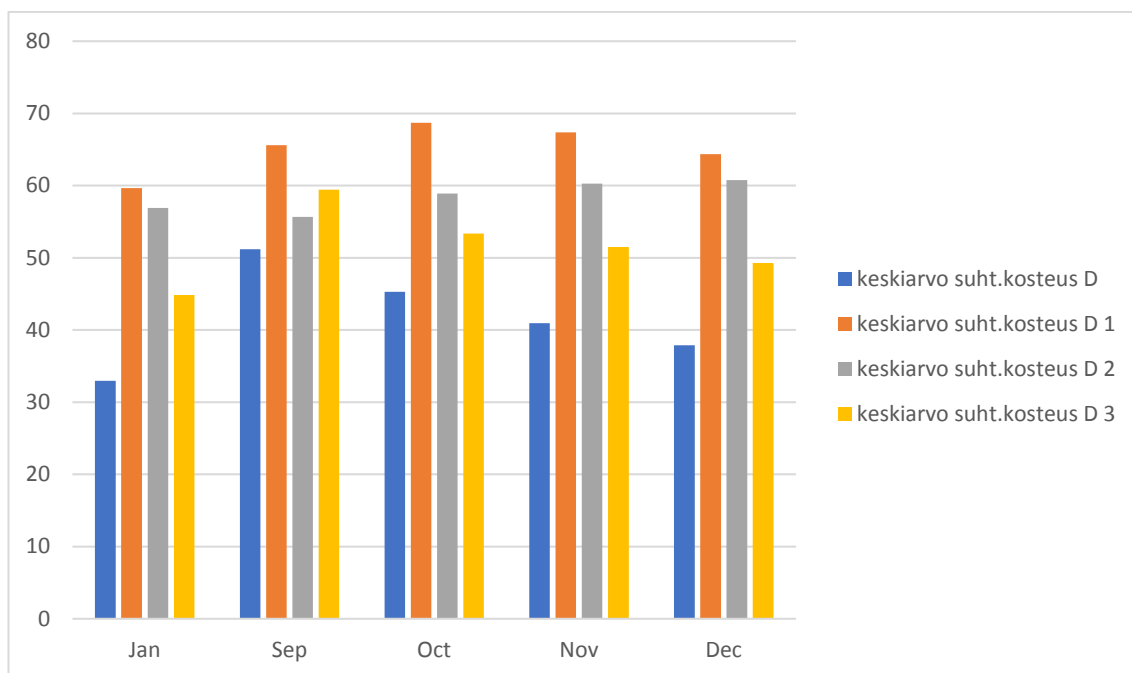
Kuva 27. Tarkastetun asunnon kosteuslisävertailu kohteen keskiarvokosteuslisään. Kohde B ja asunto 1.

Kohde B on 1990-luvulla valmistunut luhtitalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvasta 27 (kohde B) nähdään hyvin, minkä vuoksi asunto otettiin mukaan tarkastuskierrokselle. Asunnossa on ollut yli kaksi kertaa isompi kosteuslisä kuin rakennuksen kaikkien asun-
tojen keskiarvo. Kohteessa mitattiin ilmamäärät ja huomattiin heti, ettei suunnitellut ilma-
määrät toteudu. Keittiön liesituuletin ei toiminut ollenkaan, jolloin keittiössä tapahtuvat
kosteuskuormat eivät poistu niin kuin on suunniteltu. Kohteessa oli myös korvausilma-
venttiilit kiinni, jolloin ilmanvaihto ottaa korvausilman ulkovaipan vuotokohdista, eikä kor-
vausilmaventtiileistä niin kuin on suunniteltu. Korvausilmaventtiilien malli oli siitä huono,
ettei venttiilistä voinut säätää, paljonko se on auki. Kohteen tarkastelupäivänä oli $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$
pakkasta, joten korvausventtiilin avaaminen aiheuttaisi epämukavaa vedon tunnetta.

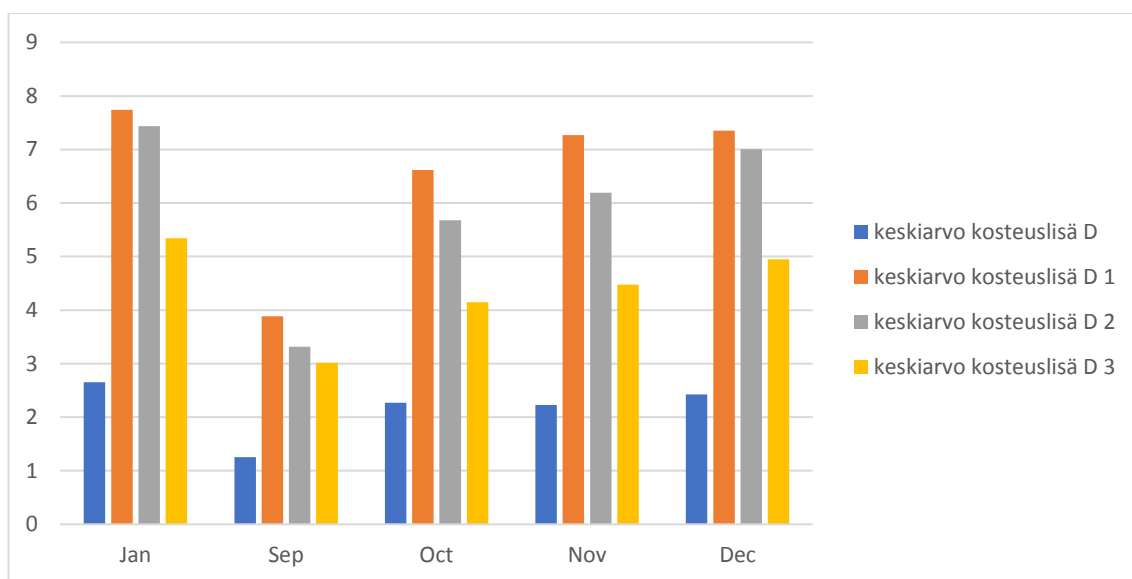


Kuva 28. Verrattu kohteen C keskiverto kosteuslisää tarkastetun asunnon kosteuslisään

Kohde C on 1990-luvulla valmistunut luhtitalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvasta 28 (kohde C) nähdään, että asunnossa on huomattavasti suurempi kosteuslisä kuin muissa asunnoissa. Asunnossa mitattiin ilmanvaihto ja huomattiin keittiön liesituulettimen ilmavirran olevan hieman liian pieni. Liesituulettimen rasvasuodatin oli likainen, mikä vaikuttaa ilmavirtaan. Asukas myös kertoi tehostusaikojen osuvan hänelle väärään aikaan. Asukas siis tekee ruokaa muuhun aikaan, kun ilmanvaihto on tehostettuna. Kosteuden kasvun syynä voidaankin pitää juuri seuraavia asioita: liesituulettimen ilmavirran riittämättömyyttä ja tehostuksen säätämisen puuttumista. Rasvasuodatin tulee pestä ja ilmanvaihto tarkastaa sen jälkeen. Tehostusaikoja tulee tarkastella ja mahdollisuuksien mukaan antaa asukkaalle mahdollisuus tehostaa ilmanvaihtoa.



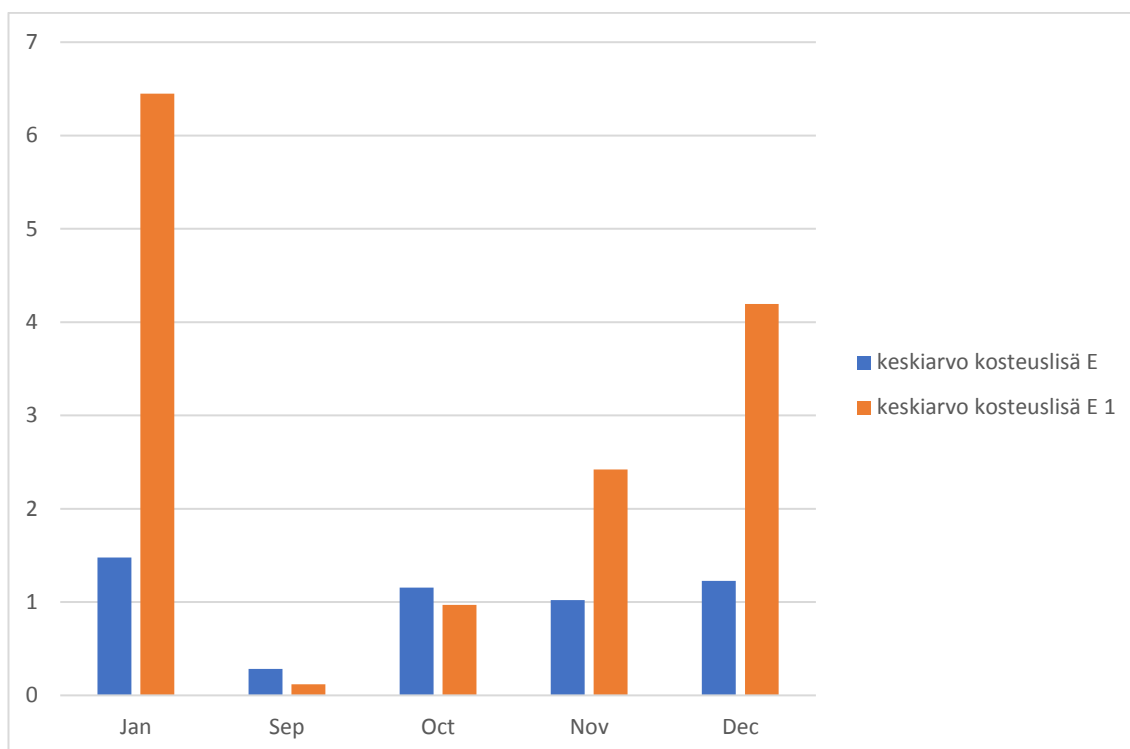
Kuva 29. Tarkastettujen asuntojen suhteellisen kosteuden vertailu keskiarvoon. Kohde D 1–3.



Kuva 30. Tarkastettujen asuntojen kosteuslisä vertailu keskiarvoon. Kohde D 1–3.

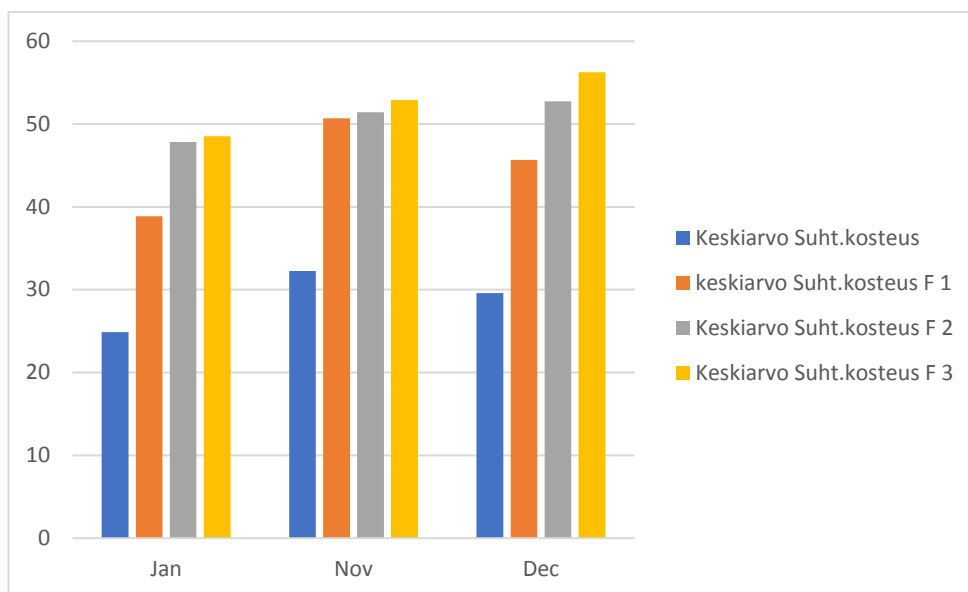
Kohde D on 1990-luvulla valmistunut kerrostalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvista 29 ja 30 (kohteet D 1–3) voidaan todeta kosteuden olevan korkea. Asunnossa 1. ilmanvaihtventtiilit olivat likaiset eikä ilmanvaihto toiminut. Keittiössä liesituuletin ei toiminut, joten kosteuskuorma keittiöstä ei poistu suunnitellusti. Ilmanvaihtventtiilit pestiin, mikä paransi ilmavirtoja huomattavasti. Liesituuletinta ei saatu toimimaan. Liesituuletin kannat-

taisi käydä tarkastamassa ja etsimässä syy sen toimimattomuudelle. Asunnossa 2 ilmanvaihto ei toiminut myöskään. Ilmanvaihtoventtiili ja liesituulettimen rasvasuodatin olivat likaisia. Ilmanvaihtoventtiili pestiin ja keittiön rasvasuodatin neuvottiin pesemään ilmanvaihtoa parantaakseen. Asunnossa 3 oli ilmanvaihtoventtiili likainen, ja se pestiin, mikä paransi ilmanvaihtoa. Kaikissa asunnoissa ilmanvaihtoventtiilit olivat niin likaisia, ettei ilma vaihtunut kunnolla. Asukkaille olisi hyvä tiedottaa venttiilien pesun kuuluvan heille, kuitenkin niin, ettei venttiilien säätöihin kosketa.

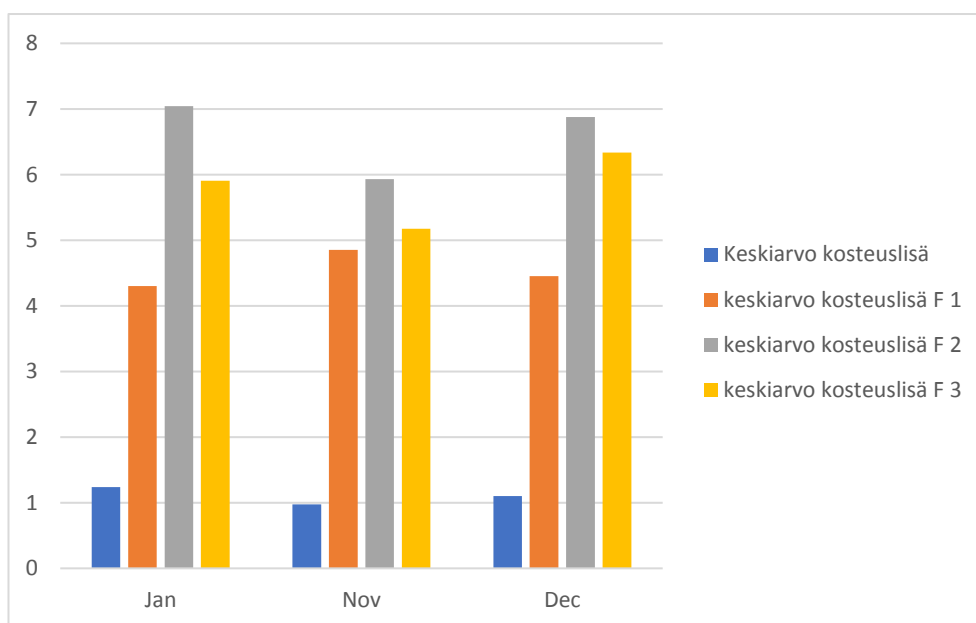


Kuva 31. Verrataan kohteen E keskiarvokosteuslisää tarkastetun asunnon keskiarvoon.

Kohde E on 2000-luvulla valmistunut kerrostalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvasta 31 (kohde E) nähdään kosteuden olevan huomattavasti suurempi talvikuukausina. Kohdeessa ilmanvaihtoa on mahdollista tehostaa ja ilmanvaihto toimiikin hyvin. Ainoa parannus olisi korvausilmaventtiilien aukipitäminen, jolloin ilma vaihtuisi tasaisesti kaikista huoneista. Tarkastelu hetkellä korvausilmaventtiilit olivat kiinni. Asunnossa on kostutin, joka selittää talvikuukausien kosteuslisän asunnossa. Kohteen asukkaille olisi hyvä varmistuksen vuoksi kertoa ilmanvaihdon tehostuksesta.



Kuva 32. Tarkastettujen asuntojen suhteellisen kosteuden vertailu.



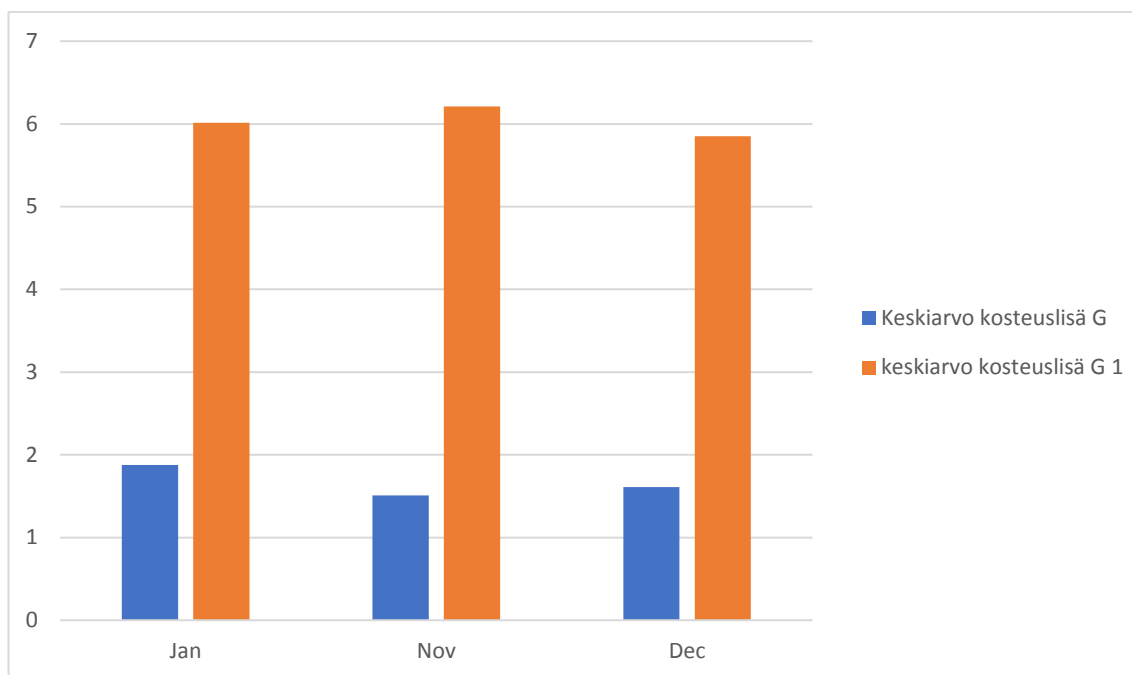
Kuva 33. Tarkastettujen asuntojen kosteuslisävertailu kohteen keskivertoon. Kohde F 1–3.

Kohde F on 1970-luvulla valmistunut kerrostalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvista 32 ja 33 (kohteet F 1–3) nähdään, että suhteellinen kosteus on melkein 20 % korkeampi, kuin keskiarvo ja kosteuslisän keskiarvo on 1 g/m³ ja tarkastelluissa asunnoissa 4–7 g/m³.



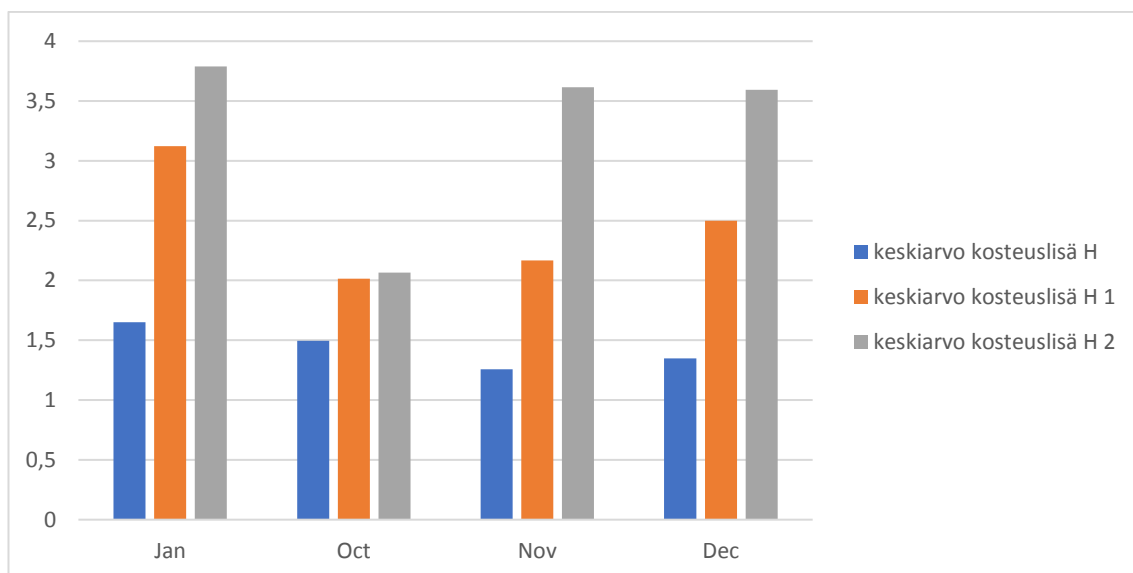
Kuva 34. Korvausilmaventtiili kondensoi ikkunankarmin päälle. Kuva asunnosta 1.

Korvausilmaventtiili kondensoi ikkunankarmin päälle. Kuvasta 34 nähdään, ettei kondensointi ole pientä vaan kosteusvaurion riski on suuri. Korvausilmaventtiilit kondensoivat kaikissa kohteen tarkastelluissa asunnoissa. Kondensointia tapahtuu todennäköisesti, koska asunnoissa lämpötila ja suhteellinen kosteus on suuri ja ilmanvaihto ei toimi, jolloin ilma ei vaihdu ja kosteus pääsee tiivistymään kylmään korvausilmaventtiilin metallilevyyn. Kohteen osassa asunnoissa ilmanvaihtovalvurit olivat menneet tukkoon, ja korvausilmaventtiilit kondensoivat. Asunnoissa ilmavaihto ei ollut riittävä, minkä vuoksi kosteus on noussut. Kohteen ilmanvaihtoa olisi hyvä tarkastella ja tarpeen mukaan lisätä ilmavirtoja. Kondensoivista korvausilmaventtiileistä tulee olla yhteydessä valmistajaan ja selvittää, mistä kondensointi johtuu. Kondensointi todennäköisesti johtuu ilmanvaihdon heikkoudesta, mutta tämä tulee varmistaa, ettei kosteusvaurioita synny.

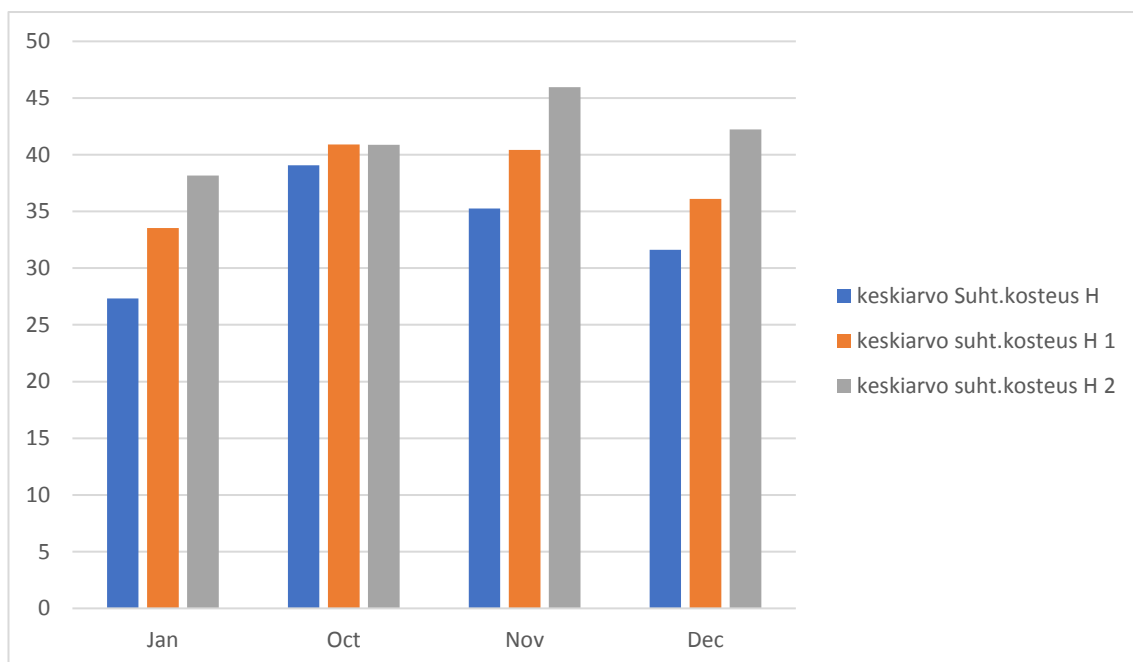


Kuva 35. Verrataan kohteen G keskiarvo kosteuslisää asunnon kosteuslisään.

Kohde G on 1990-luvulla valmistunut luhtitalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvasta 35 (kohde G) nähdään, että kosteuslisä on huomattavasti suurempi asunnossa 1 kuin keskiarvo. Asunnossa ilmanvaihtoa pystyi tehostamaan liesituulettimesta. Ilmanvaihto ei toiminut ollenkaan ilman, että liesituulettimesta on laitettu jokin tehostus päälle. Tehostus on neliportainen. Ilmanvaihtoa ei saisi laittaa kokonaan kiinni. Asunnon ilmanvaihto kannattaisi tarkistaa ja säätää tehostus niin, että tehostus on koko ajan päällä vähintään ykkösellä.



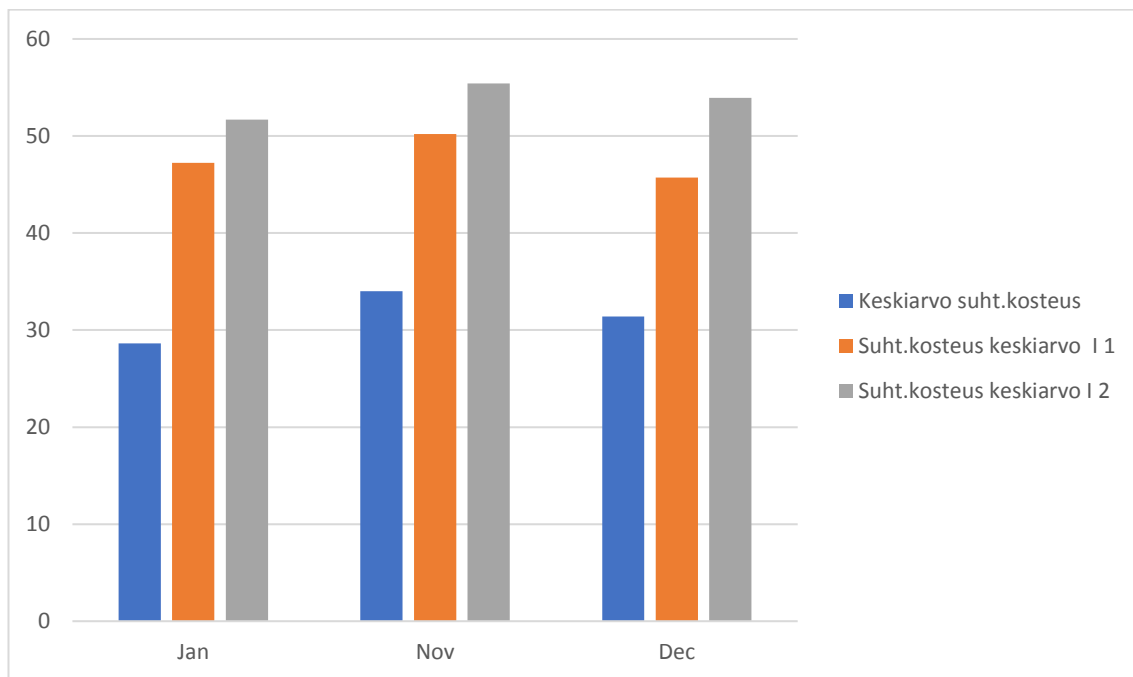
Kuva 36. Tarkastettujen asuntojen kosteuslisät verrattuna keskiarvoon. Kohde H 1–3.



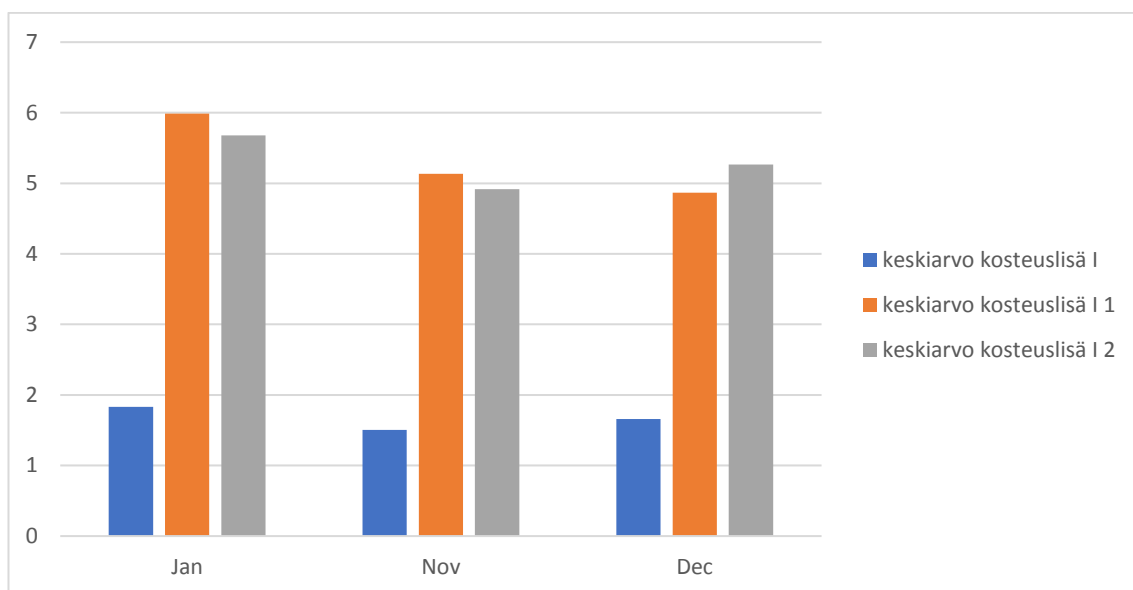
Kuva 37. Tarkastettujen asuntojen suhteellinen kosteus vertailu. Kohde H 1–3.

Kohde H on 1980-luvulla valmistunut kerrostalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvasta 36 (kohde H 1–3) nähdään, että kosteuslisä on suurempi tarkastelluissa asunnoissa 1–4 g/m³ suurempi kuin keskiarvo. Kuvassa 37 nähdään suhteellisen kosteuden olevan 5–10 % isompi. Kohteessa ensimmäisessä asunnossa ilmanvaihto oli keittiön liesituuletimessa hieman pieni, mutta tehostusaikana ilmavirta voi olla hyvä. Asunto oli yksiö, ja

jos ruokaa tehdään eri aikaan tehostuksen kanssa, kosteus pääsee kasvamaan. Toisessa asunnossa keittiön liesituulettimen rasvasuodatin oli tukossa. Myös ilmanvaihto on asunnossa liian pieni. Kohteen tehostosajat olisi hyvä tarkistaa ja tarvittaessa pidentää aikoja ja ilmamääriä. Ilmanvaihtoa olisi hyvä muutenkin tarkistaa, koska toisen asunnon kylpyhuoneen ilmanvaihto oli liian pieni.



Kuva 38. Tarkastettujen asuntojen suhteellisen kosteuslisän vertailu. Kohde I 1–2.



Kuva 39. Tarkastettujen asuntojen kosteuslisävertailu. Kohde I 1–2.

Kohde I on 1990-luvulla valmistunut kerrostalo, jossa on koneellinen poisto. Kuvista 38 ja 39 (kohde I 1–2) nähdään suhteellisen kosteuden olevan 20 % korkeampi ja kosteuslisan olevan kaksi kertaa suurempi kuin keskiarvo. Kohteessa ilmastointi ei toimi. Mitatut ilmamäärät olivat aivan liian pienet. Asunnot olivat samassa rapussa, ja kohteessa heräsi epäily rapun ilmanvaihdon toimimattomuudesta. Leanheatin järjestelmän dataa analysoimalla huomattiin, että rapussa on kohonneet kosteudet, ja tämä viittaisi siihen, ettei ilmanvaihto rapussa toimi. Rapussa oli ollut tulipalo, mikä voi selittää ilmanvaihdon toimimattomuuden. Kohteen ilmanvaihto tulisi tarkistaa.

4.2 Ilmanvaihto-vertailua

Ilmanvaihdosta tehtiin vertailua mitattujen ja suunniteltujen arvojen välillä. Ilmanvaihto oli monessa kohteessa aivan liian pieni, ja osassa ilmanvaihto ei toiminut ollenkaan. Lasketaan ilmanvaihtokerroin mitatuille ja suunnitelluille ilmavirroille.

Taulukko 6. Tarkastettujen asuntojen ilmanvaihtokerroin vertailua mitattuun ja suunniteltuun.

Kohteen koodi	Lämpötila	Suht. Kosteus	ilma määrit mitatut				Suunnitellut ilmamäärät				Asunnon koko (m ²)	Ilmanvaihtokerroin ennen korjauksia	Ilmanvaihto kerroin	Suunniteltu ilmanvaihtokerroin
			WC	Keittiö	KH	S	WC	K	KH	S				
A1	22.7	33.2	-9	-9	-24	-3.3	-8	-22	-28	-5	92	0.46	0.71	0.99
B1	21	51	-11	-7	0		-10	-20	-15		87		0.30	0.74
C1	23.3	36.6		-6.6	-14			-20	-15		60		0.49	0.84
D1	20.8	42.3	-9	0	-12.5		-10	-10	-15		95	0.05	0.33	0.53
D2	21.8	57.1		-2.5	-11.5			-3	-15		35	0.00	0.58	0.74
D3	22.8	33		-4.5	-16			-3	-15		45	0.22	0.66	0.58
E1	23	42.8		-6	-7	-5.3		-25	-15	-6	74		0.36	0.90
F1	23.5	39	0	0	0			-12	-16		55		0.00	0.73
F2	24.2	36.6	-5	-6	-11		-3	-12	-16		70	0.19	0.45	0.64
F3	24.9	33.3	-4.4	-7	-10		-3	-12	-16		70		0.44	0.64
G1	24.7	46	-5	-24	-7		-10	-20	-15		77.5	0.09	0.67	0.84
H1	22.4	22.7		-7	-10			-20	-15		30		0.82	1.68
H2	22.4	29.6		-5	-5			-20	-15		50	0.22	0.29	1.01
I1	21.4	32.4		-2	-3			-20	-15		77		0.09	0.65
I2	21	33		0	0			-20	-15		51		0.00	0.99

Ilmanvaihto kuvia ei päästy tarkastamaan. Suunnitellut ilmamäärät on katsottu rakennusvuoden mukaisesta D2.

Ilma määrä aluksi pienempi tukossa tai kinni olleen venttiilin takia.

Ilmanvaihtokerroinlaskenta näkyy taulukossa 6. Seitsemässä asunnossa ilmanvaihtoverkkoilut olivat joko kiinni tai tukossa. Näitä avaamalla tai putsaamalla pystyttiin parantamaan ilmanvaihtokerrointa huomattavasti. Nämä on merkitty punaisella taulukkoon. Ilmanvaihtokertoimen tuli olla SRMK D2 2012:n mukaan olla 0,5 1/h asuinrakennuksissa. Siten koko asunnon ilman tulee vaihtua kahdessa tunnissa. Asunnoissa, joissa tarkastelua tehtiin, jäi ilmanvaihtokerroin välille 0,00–0,82, joista yhdessä kerroin oli yli 0,5 en-

nen korjauksia. Pelkästään tästä jo nähdään, ettei ilmanvaihto ole toiminut. Kahden kohteen ilmanvaihto kuvia ei päästy tarkastamaan ja sen vuoksi niiden suunnitellut ilmamäärät on katsottu kohteen rakennusvuoden mukaisesta SRMK D2:sta.

Lasketaan yhtälöllä 7 kosteuskuorma, joka saadaan poistettua suunnitellulla ilmanvaihtokertoimella ja verrataan sitä mitattuun ilmanvaihtokertoimeen. Oletetaan sisä- ja ulkotilan kosteuseroksi 2 g/m^3 . Todellisuudessa tämä luku olisi suurempi huonolla ilmanvaihdolla, jolloin se poistaisi enemmän kosteutta, mutta verrataan nyt pelkkää ilmanvaihtoa. Lasketaan yhden kohteen tilavuudella ja ilmanvaihtokertoimella paljonko, on suunniteltu, että kosteutta saataisiin poistettua ja paljonko sieltä oikeasti saadaan poistettua.

$$A_s = A_u + \frac{g_h}{n \times V} \rightarrow g_h = (A_s - A_u) \times n \times V$$

$$2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,74 \frac{1}{\text{h}} \times 87 \text{m}^3 = 129 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$2 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0,3 \frac{1}{\text{h}} \times 87 \text{m}^3 = 52 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

Laskennasta nähdään, että suunniteltu poistettava kosteuskuorma on huomattavasti suurempi kuin nykyinen ilmanvaihto poistaa. Todellinen kosteuskuorman poisto on vain 40 % suunnitellusta. Jotta saataisiin poistettua suunniteltu määrä kosteutta, pitää kosteuseron olla 5 g/m^3 , jolla saadaan poistettua 130 g/h . Siten mitä isompi kosteusero sisä- ja ulkotilan välillä on ja mitä parempi ilmanvaihtokerroin on, sitä paremmin kosteus poistuu.

4.3 Tulokset

Tarkastettujen asuntojen ilmankosteus on suuri ja ilmanvaihdon heikkouden takia osassa kohteissa ilmankosteus kondensoi, mikä voi aiheuttaa kosteusvaurion. Ilmanvaihto ei myöskään toiminut suunnitellusti. Ilmavirrat olivat liian pienet ja korvausilmaventtiilit olivat suurimmaksi osaksi kiinni, mikä aiheuttaa sen, että korvausilma tulee rakennuksen vaipan vuotokohdista, josta korvausilma voi myös ottaa mikrobeja sisäilmaan. Ilmanvaihtokaan ei toimi suunnitellulla tavalla, jos korvausilmaventtiilit ovat kiinni. Jos asunnossa yhdessä huoneessa korvausilmaventtiili on auki ja muissa kiinni, ei asunnossa vaihdu ilma kuin tässä yhdessä huoneessa, jossa venttiili on auki.

Tarkasteltavissa asunnoissa huomattiin, ettei ilmanvaihto toiminut suurimmassa osassa, missä kosteus oli noussut. Tästä voidaan päätellä, että muissakin asunnoissa, joissa kosteus nousee huomattavasti suuremmaksi, on ilmanvaihto todennäköisesti epäkunnossa. Ilmanvaihtuventtiilit voivat olla tukossa tai ilmanvaihtojärjestelmässä voi olla jokin muu ongelma.

Tarkasteltujen asuntojen avulla voidaan kohteista, joissa huomattiin ilmanvaihdon toimimattomuus laskea, kuinka paljon siinä asunnossa on kosteuslisä suurempi kuin muissa saman kohteen asunnoissa. Voidaan myös laskea keskiarvo kosteuslisä asunnoista, missä ilmanvaihto ei toiminut. Näitä arvoja voidaan verrata muihin kohteisiin ja voidaan jatkossa käyttää työvälineenä, kun epäillään ilmanvaihdon toimimattomuutta.

5 Tulosten luotettavuus

Koska kohteita ei ole samaa määrää samana vuonna rakennettuja samalla ilmanvaihdolla eri paikkakunnalla, tämä voi omalta osaltaan vaikuttaa tutkimustulosten luotettavuuteen. Esimerkiksi ei voida sanoa, että Lohjan kohde, joka on vuonna 2001 rakennettu ja jossa on koneellinen poistoilmanvaihto, olisi huonosti rakennettu tai huollettu, vaikka sen suhteellinen kosteus on suurempi kuin muualla Suomessa olevilla samana vuonna samalla ilmanvaihdolla olevilla kohteilla. On silti mahdollista, että Lohjan esimerkkikohteessa on jotain, mikä nostaa keskiarvoakosteuksia huomattavasti korkeammaksi kuin muissa kohteissa. Tämän vuoksi työtä olisi hyvä jatkaa ottamalla lisää kohteita, jotta luotettavuus parantuisi.

Tuloksiin vaikuttaa myös kohteisiin tehdyt korjaukset. Jos 60-luvulla rakennettuun kohteeseen on tehty paljon remontteja, voidaan olettaa, että se vaikuttaa kosteusolosuhteisiin. Oletus voidaan tehdä kohteiden rakennusvuoden vertailun perusteella, jossa huomattiin, että uusimmissa rakennuksissa on kuivempaa. Voidaan myös tietenkin olettaa, että saman ikäisessä kohteessa olisi tehty samat korjaukset.

Tulosten luotettavuuteen voi vaikuttaa joidenkin kohteiden käyttämä sääasema, koska kaikki eivät ole kohteiden välittömässä läheisyydessä.

6 Yhteenveto

6.1 Data-analyysin yhteenveto

Työssä pyrittiin selvittämään, onko rakennusvuodella, ilmanvaihdolla tai sijainnilla väliä ilmankosteuteen. Tehtiin kuvaajia, joista havaittiin rakennusvuoden, ilmanvaihdon ja sijainnin merkitys. Rakennusvuosi vaikuttaa ilmankosteuteen. Ilmankosteus oli tarkasteltuna aikavälinä pienempi uudemmissa rakennuksissa. Ilmanvaihtoverailussa painovoimainen ilmanvaihto oli selvästi kosteampi kuin muut. Ilmanvaihtoverailussa voidaan todeta, ettei ilmanvaihtotavalla ole väliä. Ilmanvaihdolla kuitenkin on suuri merkitys kosteuteen: jos ilmanvaihto ei toimi, kosteus kasvaa. Ilmanvaihdon ilmanvaihtokerroin on todella merkittävä. Mitä paremmin ilma vaihtuu, sitä kuivempana asunto pysyy. Sijaintiverailussa ei suuria eroja tullut. Sijainti vaikuttaa, kun vertailtiin tunteja, milloin ulko-olosuhteiden takia ei päästä haluttuun suhteelliseen kosteuteen, huomattiin eroavaisuudet Espoon ja Kuopion välillä.

Tutkimusten avulla saatiin vastaukset haluttuihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimustulokset antoivat hyvän käsityksen siitä, mikä ilmankosteuteen vaikuttaa ja miten sitä voitaisiin kasvattaa tai laskea. Ennen opinnäytetyön aloittamista oletettiin kaikkien kolmen tekijän (rakennusvuoden, ilmanvaihtotavan ja sijainnin) vaikuttavan kosteuteen, ja tutkimuksen jälkeen voidaan todeta näiden kolmen tekijän vaikuttavan kosteuteen. Merkittävimpänä tekijänä voidaan pitää ilmanvaihtoa, josta lisää yksittäisten kohteiden yhteenvedossa. Tutkimusta voidaan jatkaa ottamalla uusia kohteita mukaan seurantaan ja tekemällä pidemmälle aikavälille lisäseuranta. Näin saataisiin lisää kohteita mukaan ja aikaväliä kasvattamalla saataisiin eri vuosien vaikutuksia seurantaan. Tutkimuksen luotettavuus myös paranisi näin, sillä nyt kohteita oli vaihtelevasti eri paikkakunnilta, ilmanvaihtoilla ja rakennusvuosilta. Ottamalla lisää kohteita tarkasteluun saataisiin lisää kohteita samalla ilmanvaihtotavalla, sijainnilla ja rakennusvuodella, mikä parantaisi tutkimuksen luotettavuutta. Myös korjaushistoria kohteista voitaisiin ottaa tarkasteluun, minkä avulla voitaisiin tarkastella tehtyjen korjausten merkitystä. Korjaushistorian tietäminen parantaisi myös tulosten luotettavuutta.

6.2 Yksittäisten kohteiden yhteenveto

Tutkimuksen avulla pyrittiin myös selvittämään, mistä yksittäisten asuntojen korkeat kosteusolosuhteet johtuvat. Pyrittiin myös selvittämään, onko kosteus haitallisen korkea ja mitä kosteudelle voitaisiin tehdä. Asunnoissa käytiin mittaamassa lämpötila ja suhteellinen kosteus ja lisäksi mitattiin ilmanvaihto. Mitattuja ilmavirtoja verrattiin suunniteltuihin ilmavirtoihin joko kuvista saatuihin tai rakennuksen aikaisista määräyksistä katsottuihin.

Näissä kohteissa tehtiin ilmanvaihtokerroin-vertailua, josta nähtiin heikon ilmanvaihdon olevan monessa kohteessa syynä kohonneeseen ilmankosteuteen. Ilmanvaihtokerroin, asunnon tilavuus, kosteuskuorma ja ulko- ja sisätilanvesihöyryero vaikuttavat ilmankosteuteen. Ilmanvaihtokerroin on ainoa asia, joihin voidaan vaikuttaa, kun puhutaan kosteuden hallinnasta. Kosteuskuorman syntymiseen voi osittain vaikuttaa, mutta ei voida asukasta pakottaa toimimaan tavalla, jotta kosteuskuormaa ei synny, koska kosteuskuormaa syntyy ihan perustoiminnoista, kuten ruuanlaitosta, siivouksesta, peseytymisestä, ja kasveista.

Opinnäytetyössä havaittiin ilmanvaihdon heikkouden olevan syynä ilmankosteuden kasvuun. Ilmanvaihto ei joko toimi kunnolla tai sitten asukas ei käytä ilmanvaihdon tehokkuutta. Tutkimuksesta saatiin hyvää tietoa mitä pitää tehdä, jotta kosteusolosuhteet saadaan hyväksi. Osassa tutkittavista kohteista kosteus oli haitallisen korkealla. Tutkimusta jatketaan seuraamalla kohteita, missä käytiin ja ilmanvaihtoa korjattiin tai aiotaan korjata. Oletuksena on, että kosteus laskee näissä kohteen keskiarvo tasolle.

Tutkimusta voidaan jatkossa hyödyntää seurannassa olevissa kohteissa seuraavasti: kun kohdeasunnon kosteus nousee, voidaan tätä verrata tutkimuksessa olleisiin kohteisiin. Tavoitteena on, että tutkimuksen avulla pystytään suoraan tulkitsemaan, toimiiko ilmanvaihto vai ei.

Lähteet

Asumisterveysohje. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita. Helsinki. Sosiaali- ja terveysvirasto.

Humidity conversion formulas. 2013. Verkkoaineisto. Vaisala Oyj.
<http://www.vaisala.com/Vaisala_Documents/Application_notes/Humidity_Conversion_Formulas_B210973EN-F.pdf>. Luettu 30.1.2018

Korjaa ajoissa ja säästä. 2016. Verkkoaineisto. FGG suunnittelu ja tekniikka OY.
<www.Hometalkoot.fi/guides>. Luettu 12.1.2018.

Kosteuden siirtyminen. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Kosteuden-siirtyminen>>. Luettu 12.2.2018.

Reijula Kari ym. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu.

Leivo Virpi. 1998. Opas kosteusongelmiin. Tampere. Tampereen Teknillinen yliopisto.

Mikrobikasvun edellytykset. 2008. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys ry <<http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Mikrobit/Mikrobikasvun-edellytykset>> Luettu 19.2.2018.

National Asthma Council Australia. Verkkoaineisto. <<http://www.sensitivechoice.com/indoor-humidity/>>. Luettu 2.2.2018

Opintomateriaalin teoriaosan osio K (kosteus). 2004. Verkkoaineisto. Rafnet-ryhmä.
<www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf>. Luettu 12.1.2018.

Pitkäranta Miia. 2016. Rakennuksen kosteus- ja sisäilmatekninen kuntotutkimus. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Sandberg Esa. 2014a. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Sandberg Esa. 2014b. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-Julkaisut Oy

Seppänen Olli ym. 2017. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. FINVAC ry. The Finnish Association of HVAC Societies FINVAC, selvitys eduskunnalle.

Ympäristöministeriön asetus. Uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Ympäristöministeriö.

8 Ilmanvaihto. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo Sisäilmasto ja ilmanvaihto - opas. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/8-ss-ilmanvaihto>>. Luettu 14.2.2018

9 Ulkoilmavirrat. 2018. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo Sisäilmasto ja ilmanvaihto - opas. <<https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/9-ss-ulkoilmavirrat>>. Luettu 14.2.2018